



# PROJEKTARBEIT

## Technologiebetrachtungen zur Prozessoptimierung der Lieferkette vorgefertigter Bauelemente

eingereicht von Nicolas Mitsch

geb. am: 15.10.1992 in: Heidelberg

Betreuer/in:

- *Prof. Dr. -Ing. Habil. Karsten Menzel*
- *Dipl. Ing Robert Kreil*

Dresden, den.....

.....  
Unterschrift des Studenten

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel Technologiebetrachtungen zur Prozessoptimierung der Lieferkette vorgefertigter Bauelemente selbstständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst habe. Es wurden keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt. Die wörtlichen und sinngemäß übernommenen Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht. Es waren keine weiteren Personen an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit beteiligt.

Dresden, 28.01.2019

Nicolas Mitsch





# INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis .....	
Abbildungsverzeichnis .....	VII
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis .....	IX
1 Abstrakt.....	10
2 Einleitung.....	11
3 Fassaden.....	13
3.1 Anforderungen an Fassadensysteme .....	13
3.2 Auswahl eines Fassadensystems.....	16
3.3 Anforderungen an Sichtbeton .....	17
3.4 Betonieren von Sichtbeton .....	19
4 Vergleich Stationäre- und Bauindustrie .....	21
5 Vorfertigung im Bauwesen.....	24
5.1 Chancen der Vorfertigung .....	24
5.2 Risiken der Vorfertigung .....	26
6 Lieferkette des Fassadensystems .....	27
6.1 Akteure der Lieferkette.....	27
6.1.1 Architekt.....	27
6.1.2 Produktion .....	27
6.1.3 Transport.....	28
6.1.4 Einbau .....	29
7 Baubegleitende Dokumentation.....	30
7.1 Anforderungen an die allgemeine baubegleitende Dokumentation .....	31
7.2 Baubegleitende Dokumentation für die Vorfertigung.....	35
7.2.1 Bauablaufplan: .....	36
7.2.2 Baufortschritt: .....	36
7.2.3 Baustelleneinrichtungsplan:.....	36

7.3	BIM als Werkzeug zur Erstellung einer baubegleitenden Dokumentation	37
7.3.1	Bauablaufplan: .....	38
7.3.2	Baufortschritt: .....	38
7.3.3	Baustelleneinrichtung: .....	43
8	Optimierung .....	45
8.1	Zielsetzung .....	45
8.2	Bewertungssystem .....	46
8.3	Notwendige Informationen.....	49
8.4	Optimierung der Prozesse unter Einsatz von BIM .....	51
8.4.1	Entwurf.....	51
8.4.2	Produktion .....	52
8.4.3	Einbau .....	54
8.5	Optimierung der Externen Prozesse .....	55
9	Auswertung und Ausblick .....	57
10	Literaturverzeichnis .....	60
11	Anhang .....	62

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vereinfachte Lieferkette des Fassadensystems.....	27
Abbildung 2: Aufzubewahrende Unterlagen .....	33
Abbildung 3: Optimierter Produktionsprozess .....	53
Abbildung 4: Modellübergabe .....	56

Tabelle 1: Bewertungssystem.....47

# ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AIA	American Institute of Architects
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BIM	Building Information Modeling
BSI	British Standards Institution
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
ID	Identifikator
IFC	Industry Foundation Classes
LKW	Lastkraftwagen
LOD	Level of Detail (BSI)/Level of Development(AIA)
QR-Code	Quick Response-Code
UV	Ultraviolett
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
W/Z Wert	Wasser/Zement Wert

# 1 ABSTRAKT

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Prozesse der Lieferkette von komplexen Fassadensystemen zu analysieren und zu optimieren. Dazu wurden zunächst die aktuellen Gegebenheiten und die Prozesse untersucht. Als Hilfsmittel zur Optimierung wurde die baubegleitende Dokumentation herangezogen, die um zusätzliche Informationen erweitert wurde, die bereits während der Bauphase von Nutzen sind. Durch den Einsatz von BIM Technologien konnte gewährleistet werden, dass in allen Planungs- und Bauphasen die relevanten Informationen beim richtigen Empfänger ankommen. Unter Zuhilfenahme der erzeugten Informationen wurden dann die Teilprozesse der Lieferkette hinsichtlich des Fertigstellungszeitpunkts optimiert. Die erarbeiteten Ergebnisse dieser Arbeit sind zwar für den speziellen Fall der Vorfertigung von Fassadensystemen erarbeitet, lassen sich aber durch geringfügige Anpassungen auch auf andere Bereiche des Bauwesens anwenden.

## 2 EINLEITUNG

Verzögerungen bei der Fertigstellung von Bauwerken sind gerade bei Großbauwerken keine Seltenheit, obwohl diese oft mit einfachen Mitteln reduziert oder sogar verhindert werden könnten. Die gesteigerten Anforderungen an Gebäude hinsichtlich Nachhaltigkeit und Funktionalität erfordern immer öfter einen komplexen Planungsprozess, der in diesem Umfang in der Bauindustrie lange nicht üblich war. Das führt oft zu Problemen im Bauablauf, die rückblickend leicht hätten erkannt werden können.

### **Problemstellung**

Eine Vielzahl der Probleme entstehen durch die komplexe Natur von Bauwerken und die wenig kontrollierbaren Fertigungsbedingungen. Diese Komplexität soll durch den Einsatz von stationären Vorfertigern in den Griff bekommen werden. Die Vorfertigung von Bauelementen ermöglicht schon heute eine drastische Verkürzung der Bauzeit. Jedoch sind auch viele schwerwiegende Problemfaktoren menschengemacht und lassen sich vor allem im Bereich des Informationsaustauschs finden. Relevante Informationen stehen oft nicht allen zur Verfügung oder sind schwer zu finden. Die während der Planungs- und Bauphase erzeugten Daten werden oft nur archiviert und nicht genutzt, um den Bauablauf zu unterstützen.

### **Zielstellung**

Ziel dieser Arbeit ist es, die verfügbaren Daten und Ressourcen effektiv zu nutzen, um Verzögerungen im Bauwesen zu reduzieren und zu verhindern. Diese Optimierung wird am Beispiel von einem komplexen Fassadensystem durchgeführt. Zu diesem Zweck wird die Lieferkette von Fassadensystemen betrachtet und das Optimierungspotential der einzelnen Teilschritte analysiert und bewertet. Wichtig dabei ist, dass die vorgeschlagenen Änderungen der Datenverwaltung und der Produktionsprozesse möglichst ohne große Investitionen umgesetzt werden können. Eine Steigerung der Produktionskapazität durch Neuanschaffung von z.B. Maschinen ist generell in den meisten Fällen möglich, aber im Rahmen dieser Arbeit keine wünschenswerte Lösung. Vielmehr soll durch das Einbinden der baubegleitenden Dokumentation in den Bauablauf eine Optimierung der Produktion ermöglicht werden, die auch von kleinen Unternehmen umgesetzt werden kann, für die teure Neuanschaffungen keine Option sind.

### **Struktur der Arbeit**

In Kapitel 3 wird auf die Anforderungen eingegangen, die an ein modernes Fassadensystem gestellt werden und anhand dieser Anforderungen eine Auswahl getroffen, die in der Arbeit näher behandelt wird. In den Kapiteln 4 und 5 werden die Besonderheiten der Bauindustrie und deren Annäherung an die stationären Industrien untersucht, sei es durch den Einsatz von Robotern oder eine verstärkte Vorfertigung von Bauteilen. Darauf folgt in Kapitel 6 eine vereinfachte Darstellung der Lieferkette von Fassadensystemen, die die Grundlage für die weiteren Optimierungen bildet. Als Informationsgrundlage für die eigentliche Optimierung wird in Kapitel 7 die baubegleitende Dokumentation auf ihre Relevanz während des Bauprozesses untersucht und unter Zuhilfenahme von BIM Technologie erweitert. Auf Basis der gesammelten Informationen werden in Kapitel 8 Prozessoptimierungen vorgenommen, die ohne zusätzliche Investitionskosten das Risiko eines verspäteten Einbaus stark reduzieren können. Eine genauere Auswertung der Optimierung findet in Kapitel 9 statt.

## 3 FASSADEN

Bei Fassaden handelt es sich um einen Teil der Gebäudehülle. Sie sorgen für eine Trennung von Innenbereich und Außenbereich. Je nach Definition handelt es sich dabei nur um den sichtbaren, bzw. repräsentativen Teil, oder die gesamte Gebäudehülle.

Unterschieden wird hier in die Hauptgruppen:

- Tragende Fassaden
- Nicht tragende Fassaden

Innerhalb dieser Hauptgruppen gibt es viele unterschiedliche Fassadensysteme, deren Aufbau und Funktion sich teils stark voneinander unterscheiden.

Bevor eine Auswahl eines Fassadensystems zur Untersuchung des Produktionsprozesses getroffen wird, muss zuerst festgelegt werden, welche Anforderungen an moderne Fassadensysteme gestellt werden.

### 3.1 ANFORDERUNGEN AN FASSADENSYSTEME

Die Fassade als Abgrenzung zwischen Innen- und Außenbereich eines Gebäudes muss besonderen Anforderungen gerecht werden, da sie anderen Auswirkungen ausgesetzt ist, als andere Bauteile. Die Fassade eines Gebäudes ist maßgeblich dafür, im Inneren eine behagliche Atmosphäre zu schaffen. Sie muss die darunterliegenden Bauteile, aber vor allem auch die Innenräume gegenüber den klimatischen Einflüssen abschirmen und gleichzeitig die gestalterischen Ansprüche des Architekten und Bauherrn erfüllen.

Da die Fassade eines Gebäudes als Regen-, Wind- und Wärmeschutz dient, beeinflusst sie die Energieeffizienz von Gebäuden. Durch eine entsprechende Gestaltung können daher die Kosten für Heizung, aber auch Kühlmaßnahmen reduziert werden. Eine gut gestaltete Fassade wirkt sich demnach positiv auf den Komfort derer aus, die sich im Inneren des Gebäudes befinden.

Fassadensysteme können in tragende oder vorgehängte Fassaden unterschieden werden. Das in dieser Arbeit behandelte System muss nur sein Eigengewicht und die anfallenden Windlasten abtragen.

Durch die vielseitigen Anforderungen an Fassaden müssen beim Entwurf die folgenden Gesichtspunkte beachtet werden (<https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/grundlagen/anforderungen-an-fassaden-1451893>, 27.01.2019)

- Gestalterische Aspekte
  - Einbindung in die städtebaulichen Vorgaben
  - Corporate Design
  - Individualität
  - Materialität
- Anforderungen an die Energieeffizienz und die thermische Behaglichkeit
  - Klimatischer Raumabschluss
  - Wärme- und Sonnenschutz
  - Wind- und Regenschutz
  - Raumbelüftung
- Anforderungen an die visuelle Behaglichkeit
  - Raumbelichtung
  - Sichtbezug nach außen
  - Blendschutz und Lichtlenkung
  - Gewährleistung der Reinigungsmöglichkeit
- Anforderungen an die akustische Behaglichkeit
  - Schalldämmung nach außen
  - Schallabsorption nach innen
- Anforderungen an die Sicherheit und den Schutz
  - Strahlungsschutz (UV, Radar)
  - Beschädigung (Einbruch, Explosion)
  - Absturz (Brüstungshöhe, Glasart, Beschlagsart)
  - Brandüberschlag und Wärmestrahlung
  - Nutzung als Rettungsweg
- Anforderungen an die Funktionalität
  - Barrierefreiheit
  - Flexibilität
  - Individuelle Bedienbarkeit und/oder zentrale Steuerbarkeit
  - Integration von Gebäudetechnik
- Konstruktion und Montage

- Aufnahme von Lasten und Bewegung
- Bauzeiten
- Bauabläufe

## 3.2 AUSWAHL EINES FASSADENSYSTEMS

Bei dem in dieser Arbeit behandelten Fassadensystem handelt es sich um ein vorgehängtes hinterlüftetes Fassadensystem mit glasfaser- oder carbonbewehrten Textilbetonplatten. Die Textilbetonplatten werden mittels Agraffentechnik an einer Pfosten Riegel Konstruktion, von außen nicht sichtbar befestigt.

Der Wärmeschutz erfolgt durch Mineralwolle, was das System gegen Brandeinwirkung wenig anfällig macht. Der Einsatz von Textilbeton erlaubt den Einsatz von Betonplattenelementen mit geringerer Stärke, verglichen mit klassischen Stahlbetonbauteilen. Dadurch lassen sich Bauteildicken zwischen 20 und 40mm und Plattengrößen bis zu 3600 x 2400mm erreichen, deren Betondeckung bei Verwendung von Stahlbeton nicht gewährleistet wäre (vgl. Hegger et al. 2011). Die Verwendung von Textilbeton ermöglicht praktisch unbegrenzte gestalterische Möglichkeiten, da die Bauteilabmessungen nun weniger durch Betondeckung und Eigengewicht der Fassadenelemente begrenzt sind.

Durch die geringe Bauteildicke können Transportkosten gespart werden und der Einbau ist, je nach Elementgröße, mit weniger – oder ohne Maschineneinsatz möglich. Die Fassadenelemente haben ein Eigengewicht zwischen 47kg/m<sup>2</sup> und 96kg/m<sup>2</sup> (Lithodecor 2018)

Der Vorteil einer vorgehängten Fassade liegt unter anderem auch darin, dass die Platten bei Bedarf einfach ausgetauscht werden können, was besonders für kommerziell genutzte Bauwerke relevant ist, bei denen es nötig sein kann, die Fassade für einen Mieterwechsel zu verändern. Auch bei Beschädigung einzelner Elemente können diese ohne große Probleme ausgetauscht werden, was bei einer massiven Konstruktion nicht ohne weiteres möglich wäre.

### 3.3 ANFORDERUNGEN AN SICHTBETON

Da es sich bei der Oberfläche des ausgewählten Fassadensystems um Beton handelt, gelten zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen noch spezielle Anforderungen an die Sichtbetonqualität der Fassadenelemente.

Bei der Oberfläche der verwendeten Fassadenelemente handelt es sich um Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen im Hochbau und muss daher hohen Ansprüchen genügen. Die Faserbetonelemente sind daher mindestens als Sichtbetonklasse SB 3 auszuführen. Die Anforderungen, die für diese gelten werden im Folgenden aufgelistet und sind als Übersicht im Anhang zu finden.

Textur T2:

- Geschlossene und weitgehend einheitliche Betonfläche
- In den Schalelementstößen ausgetretener Zementleim/Feinmörtel bis ca. 10 mm Breite und ca. 5 mm Tiefe zulässig
- Höhe verbleibender Grate bis ca. 5 mm zulässig
- Rahmenabdruck des Schalelements zugelassen

Porigkeitsklasse P2 – P3

- Maximaler Porenanteil in mm<sup>2</sup> auf einer Prüffläche von 500 mm x 500 mm
  - P2 ≤ 2250 (ca. 0,9 % der Prüffläche)
  - P3 ≤ 1500 (ca. 0,6 % der Prüffläche)

Farbtongleichmäßigkeit FT2

- Gleichmäßige, großflächige Hell-/Dunkelverfärbungen in der Flächenfärbung sind zulässig
- Schmutzflecken sind unzulässig
- Unterschiedliche Arten und Vorbehandlungen der Schalhaut sowie Betonausgangsstoffe verschiedener Art und Herkunft sind unzulässig

Ebenheit E2

- Ebenheitsanforderungen nach DIN18202:2013-04, Tabelle 3 Zeile 6

Arbeits- und Schalhautfugen

- Versatz der Flächen zwischen zwei Betonier Abschnitten bis ca. 5 mm zulässig
- Feinmörtelaustritt auf dem vorhergehenden Betonier Abschnitt sollte rechtzeitig entfernt werden
- In Arbeitsfugen werden Trapezleisten o.ä. empfohlen

#### Erprobungsfläche

- Bei Sichtbetonoberflächen der Klassen SB 2 und höher wird eine Erprobungsfläche empfohlen

#### Schalhautklasse SHK 2

- Bohrlöcher sind als Reparaturstellen zulässig
- Nagel- und Schraublöcher sind ohne Absplitterungen zulässig
- Beschädigungen der Schalhaut durch Innenrüttler sind nicht zulässig
- Kratzer sind nur als Reparaturstellen zulässig
- Beton- oder Mörtelreste sind nicht zulässig
- Zementschleier sind zulässig
- Aufquellen der Schalhaut in Schraub- bzw. Nagelbereichen oder Welligkeiten an den Kantenflächen sind in SB 3 nicht zulässig.

Durch die hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität sind auch die Kosten für Beton der Klasse SB 3 hoch.

### 3.4 BETONIEREN VON SICHTBETON

Anhand der bereits aufgezeigten Anforderungen an die Oberflächenqualität der Fassadenelemente können einige Punkte zusammengestellt werden, die es beim Betonieren von Sichtbeton Bauteilen zu beachten gilt.

#### Schalungshaut:

Die Oberfläche der Schalungshaut spielt beim Betonieren von Sichtbeton eine große Rolle. Ihre Eigenschaften wirken sich maßgebend auf das Aussehen der Betonoberfläche aus und müssen demnach kontrolliert werden. Je nach gewünschter Oberfläche kann zwischen saugender- und nicht saugender Schalung gewählt werden. Auch die Struktur der Schalhaut beeinflusst die Qualität des Endproduktes.

#### Materialauswahl:

Je nach verwendeter Zementsorte verändert sich die Farbe des Betons stark. Um eine gleichbleibende Qualität zu garantieren, muss demnach die Zusammensetzung des Betons nicht nur abhängig von der Festigkeit gemacht werden, sondern auch von der gewünschten Farbe. Auch die Gesteinskörnung hat einen Einfluss auf das Aussehen des Betons.

#### Nachbearbeitung:

Die fertige Betonoberfläche kann nach dem Ausschalen noch bearbeitet werden um besondere Muster oder Effekte zu erzeugen.

#### Herstellen von Referenzoberflächen:

Ab Sichtbetonklasse SB2 wird es empfohlen Referenzelemente zu betonieren, um die Oberflächenqualität schon früh zu bestimmen.

#### Konstruktive Gestaltung:

Um eine gleichmäßige Vermischung des Betons zu garantieren, muss die Bewehrung mit ausreichend großem Abstand angeordnet werden, dass das Gefüge gleichmäßig bleibt und die Bewehrung keine Siebwirkung hat. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass auch bei Innenbauteilen eine Betondeckung von

mindestens 30mm eingehalten wird. Dennoch muss die oberflächennahe Bewehrung eng genug gelegt werden um Oberflächenrisse zu verhindern.

Witterungseinflüsse:

Bei der Herstellung von Beton hat die Witterung einen starken Einfluss auf das Endprodukt. Schon ab einer mittleren Tagestemperatur von unter 10°C kann es beim Betonieren mit nicht saugender Schalung zu dunklen Flecken auf der Betonoberfläche kommen, die die Sichtbetonqualität reduzieren. Um dies zu vermeiden, müssen Schalhaut angewärmt werden und auch die Frischbetontemperatur muss über 15°C gehalten werden. Es muss möglichst früh ausgeschalt werden.

Nicht nur Temperaturen haben einen starken Einfluss auf die Sichtbetonqualität von Betonbauteilen, sondern auch Niederschlagswasser, das während des Betonierens oder Abbindens in Kontakt mit dem Beton kommt, wirkt sich negativ auf die Betonqualität aus und kann nur noch durch eine kosmetische Nachbehandlung repariert werden.

Durch die hohen Qualitätsanforderungen von Sichtbeton ist eine vor Ort Herstellung auf der Baustelle nicht ganzjährig ohne Qualitätseinbußen möglich, was der Hauptgrund ist, warum Sichtbetonbauteile, wenn möglich als Fertigteile ausgeführt werden sollen. Zwar können Betonzusammensetzung, Schalung, Bewehrung und auch Nachbearbeitung auf der Baustelle gut kontrolliert werden, bei Witterungseinflüssen und speziell bei niedrigen Temperaturen im Winter kann eine Ausführung in hoher Qualität jedoch nicht mehr gewährleistet werden. Da es sich bei den Fassadenelementen um 20-40mm starke textilibewehrte Plattenbauteile handelt kann die nötige Frischbetontemperatur nur durch Einsatz von Heizmitteln auf der Baustelle gewährleistet werden, was zu zusätzlichen Kosten führt. In einer Fertigungshalle können die Umgebungsbedingungen gut kontrolliert werden, die Temperatur kann gleichmäßig gehalten werden, was zu einer gleichbleibenden Betonqualität führt (vgl. <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/sichtbeton/> 27.01.2019).

## 4 VERGLEICH STATIONÄRE- UND BAUINDUSTRIE

Die Vorfertigung und der Einbau von Pfosten Riegel Fassaden mit Textilbetonelementen stellt eine Verbindung von der stationären Industrie und der nicht stationären Fertigung auf der Baustelle da. Dies bietet einige Vorteile, wirkt sich jedoch auch auf die Komplexität des Planungsprozesses aus. Um zu untersuchen, wie sich die Verbindung der zwei Industriezweige auf den Planungs- und Produktionsprozess auswirkt, werden diese zunächst verglichen um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu finden.

Da Bauwerke in der Regel Unikate sind kann deren Herstellungsprozess nicht direkt mit dem der stationären Industrie verglichen werden. Anders als die Bauindustrie, ist die die stationäre Industrie meist darauf ausgelegt, ein Produkt in vielfacher Ausführung herzustellen. Selbst wenn Bauwerke gleich gebaut werden, gibt es dennoch immer Unterschiede, die nicht in der stationären Industrie vorkommen, wie zum Beispiel Unterschiede im Baugrund oder den örtlichen rechtlichen Randbedingungen. Das wirkt sich bereits auf die Planung des Produktes aus, weshalb der Planungsprozess, zum Beispiel von einem Auto, deutlich langwieriger ist, als der eines Gebäudes. Auch können Prototypen angefertigt werden, um die Funktionsweise zu überprüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Das führt dazu, dass der Herstellungsprozess in der stationären Industrie meist schon vor Beginn der Produktion hoch optimiert ist, wohingegen die Prozesse in der Bauindustrie nach einem abgeschlossenen Projekt ausgewertet und verbessert werden. Durch die einzigartigen Eigenschaften von Bauwerken kann gewonnenes Wissen jedoch nicht vollständig auf die Herstellung anderer Gebäude angewendet werden. Den optimierten Prozessen für den Bau eines Gebäudes liegt daher der gesamte Erfahrungsschatz des Unternehmens zu Grunde, der die Hauptressource für die Bauablaufplanung darstellt.

Die Planung von Bauprozessen gestaltet sich aus mehreren Gründen schwierig. Hauptsächlich, da die Fertigung jedes neuen Bauvorhabens an einem anderen Ort stattfindet und daher weniger Einfluss auf die Umgebungsvariablen genommen werden kann. Für Gebäude kann kein standardisiertes Produktionsverfahren entwickelt werden, da es zu viele unbeeinflussbare Variablen gibt. Viele Faktoren

von Außerhalb müssen bei der Planung bedacht werden, wie zum Beispiel die Einschränkung von Verkehrsflächen und anderen öffentlichen Räumen. Auch Versorgung und Entsorgung von anfallenden Abfällen können nicht für jedes Projekt gleich geplant werden, was zu erhöhtem Planungsaufwand und auch Unsicherheiten führt.

In der stationären Industrie gibt es meist kaum oder nur kleine Planänderungen, daher muss der Produktionsablauf weniger komplex gestaltet werden. Im Baugewerbe haben Planänderungen oft einen großen Einfluss auf Arbeitszeitaufwand und Kosten. Daher ist der Bauablauf nicht nur hinsichtlich der Kosten und der Zeit optimiert, sondern auch hinsichtlich der möglichen Flexibilität, sollte diese nötig sein. Planänderungen im Baugewerbe sind bei Bauverträgen basierend auf der VOB jederzeit möglich, da dem Bauherrn das Recht eingeräumt wird, während der gesamten Bauausführung Änderungen vorzunehmen (vgl. Alfen et al. 2013).

Die Belegschaft auf Baustellen ist in den meisten Fällen nicht fix und wechselt von Projekt zu Projekt, da die Kapazitäten des Bauunternehmens möglichst optimal ausgenutzt werden müssen.

Um zusätzliche Kapazitäten zu schaffen, werden Nachunternehmer eingesetzt, die eine zusätzliche Variable auf der Baustelle darstellen. Ihre Belegschaft muss auf jeder Baustelle neu eingearbeitet werden. Durch die immer stärker stattfindende Internationalisierung kommt noch hinzu, dass auch Nachunternehmer aus anderen Ländern eingesetzt werden und zusätzliche Sprachbarrieren entstehen (Bsp. Züblin + Zucotec).

Die Produktion findet unter wenig kontrollierbaren Bedingungen draußen statt und auf schlechtes Wetter kann nur bedingt Rücksicht genommen werden, da Termine eingehalten werden müssen und Bauherren oft fachfremd sind und daher wenig Verständnis für die Abläufe auf der Baustelle mit sich bringen. In Zukunft können diese Schwierigkeiten durch den Einsatz von Robotern auf der Baustelle gemildert werden. Einer Schätzung der Fakultät für Architektur der TU München nach sind bereits heute ca. 5.000 Roboter auf der Baustelle im Einsatz(<https://www.gevestor.de/details/roboter-sorgen-fuer-revolution-auf-der-baustelle-812021.html>, 27.01.2019). Dazu zählen Roboter die mauern können und

3D Drucker für Gebäude, mit denen es möglich ist rund um die Uhr zu arbeiten und schneller und genauer, als mit herkömmlichen Methoden.

Während in der stationären Fertigung die entsprechenden Unternehmen ihre Prozesse selbst planen und sich daher mit ihrem gesammelten Wissen einbringen können, werden Bauunternehmen generell sehr spät in den Planungsprozess mit eingebunden, was deren Einfluss auf die Planung stark reduziert und eine Menge Wissen verloren geht, das für einen optimalen Bauablauf relevant gewesen wäre. Bauunternehmen können daher nicht zwangsläufig ihre Stärken ausspielen, sondern müssen einen größtenteils festgelegten Plan mit den ihnen gegebenen Mitteln umsetzen.

Beim Bau eines Gebäudes findet oft ein Teil der Planung und Prüfung noch während des Bauens statt, was in der stationären Industrie undenkbar wäre. Durch den parallelen Ablauf von Planung und Produktion ist es möglich bereits früher mit dem Bauen anzufangen, was generell eine Zeitersparnis ermöglicht. Dem entgegen steht jedoch, dass sich Verzögerungen bei einem Planungsschritt schnell auf den gesamten Bauprozess auswirken. Es muss also zwischen den Risiken und den Chancen der parallelen Fertigung und Planung abgewogen werden.

## 5 VORFERTIGUNG IM BAUWESEN

Die Vorfertigung als Teil des Bauprozesses ist seit 1919 zum Bau mit Stahlbetonfertigteilen zum Einsatz gekommen. Heute werden Fertigteile aus Stahlbeton in fast allen Teilgebieten des Bauwesens eingesetzt und der Anteil der Fertigteile in Gebäuden steigt in der Vergangenheit stark an. Fertigteile aus Carbon/Textilbeton kommen noch seltener zum Einsatz, da es sich um einen sehr neuen Baustoff handelt und es den Unternehmen an Erfahrung mangelt. Ziel der Vorfertigung ist es, Fertigteile zu liefern die hinsichtlich der Kosten, der Qualität, aber auch der Funktion und Bauphysik optimiert sind. Die Vorfertigung stellt einen entscheidenden Schritt des Bauwesens in Richtung der stationären Industrien dar und bringt eine Reihe von Vor- und Nachteilen.

### 5.1 CHANCEN DER VORFERTIGUNG

Erhöhte Qualität:

Ein Hauptgrund für die Vorfertigung von Bauteilen aus Beton ist die erhöhte Qualität. Im Gegensatz zu der Fertigung auf der Baustelle können in einer Fertigungshalle die Umgebungsvariablen, wie zum Beispiel das Wetter, deutlich besser kontrolliert werden was eine Produktion in gleichbleibend hoher Qualität zulässt.

In Vorfertigungsbetrieben wechselt die Belegschaft im Normalfall nicht so stark wie auf Baustellen, was es möglich macht, das Personal einzuarbeiten. Dies führt dazu, dass die möglichst standardisierten Arbeitsabläufe im Fertigteilwerk schneller abgearbeitet werden können, als bei dauerhaft wechselnder Belegschaft. Ziel ist es eine Fließbandfertigung zu erreichen, bei der, wie in der Automobilindustrie üblich, jeder Arbeiter oder jede Arbeiterkolonne nur eine Aufgabe hat, diese aber so schnell und gut wie möglich umsetzt.

Speziell bei der Vorfertigung von Betonbauteilen ergeben sich noch weitere Vorteile, da Stahlschalungen verwendet werden können, die verglichen mit der, auf der Baustelle üblichen, Holzschalung eine deutlich höhere Maßgenauigkeit zulässt. Dadurch können geringere Toleranzen eingehalten werden, was insgesamt zu einem hochwertigeren Produkt führt.

Durch den Einsatz von mechanisierten Verdichtungsverfahren können steifere Betone mit einem geringeren w/z Wert eingesetzt werden, als auf der Baustelle üblich. Das führt zu einer erhöhten Frühsteifigkeit, was ein früheres Ausschalen ermöglicht und auch die Endfestigkeit erhöht.

Durch den Einsatz hochwertiger Schalung und die praktisch uneingeschränkte Möglichkeit Maschinen einzusetzen, ist die Oberflächenqualität von Betonfertigteilen in der Regel höher, als die von Ortbetonbauteilen.

Durch die stationäre Fertigung ist es den Fertigteilverwerken möglich, ein effektives und effizientes Qualitätsmanagement zu implementieren, was zu einer gleichbleibenden und hohen Qualität der gelieferten Produkte führt.

Kostenverringerung:

Auf Grund des hohen Standardisierungsgrads in Fertigteilverwerken, können viele Bauteile mit der gleichen Schalung hergestellt werden. In der Regel sind nicht alle Bauteile identisch, können aber durch kleine Anpassungen in der gleichen Schalung betoniert werden. Durch den Einsatz von Stahlschalungen wird nicht nur die Qualität erhöht, sondern auch der Verschleiß der Schalung wird deutlich gesenkt. Das erlaubt es, Schalung öfter einzusetzen und senkt somit die Kosten für Schalung pro Bauteil.

Durch die liegende Produktionsweise kann auf zusätzlichen Einsatz von Baugeräten und Gerüsten verzichtet werden, die beim Betonieren in höheren Stockwerken benötigt werden.

Die Fertigung in einer Halle erlaubt es die Fertigung ausschließlich auf statische Gesichtspunkte zu fokussieren, da es kaum fertigungstechnische Einschränkungen bei der Produktion gibt. (vgl. Jehle 2018)

Durch die hohe Qualität der Oberflächen kann auf Anstriche oder Putz verzichtet werden, was sowohl die Baukosten, als auch die Betreiberkosten senkt. Aus Sicht der Bauunternehmen bietet es sich auch an, Fertigteile einzusetzen, da die Verantwortung für die Herstellung der Bauteile abgegeben wird.

Verkürzung der Bauzeit:

Die Fertigung von Betonfertigteilen ist in der Werkshalle ganzjährig und witterungsunabhängig möglich, was auch einen Baufortschritt im Winter ermöglicht, da der Einbau ohne besondere Baustelleneinrichtung erfolgt und die Bauteile sofort nach Montage belastbar sind (vgl. Jehle 2018).

## 5.2 RISIKEN DER VORFERTIGUNG

Durch die Vorfertigung werden mehr Unternehmen in den Bauablauf integriert, was zu einem erhöhten Koordinationsbedarf führt. Da durch den Einsatz von Betonfertigteilen die Aufgabe der Herstellung aus der eigenen Hand gegeben wird, können leicht Abhängigkeiten entstehen. Verzögerungen bei der Herstellung der Fertigteile behindern auch direkt den gesamten Bauablauf. Daher ist eine gute Abstimmung mit den Zulieferern essenziell.

Obwohl das deutsche Fernstraßennetz mittlerweile gut ausgebaut ist, können Probleme beim Transport nur wenig vermieden werden. Staus auf den Fernstraßen sind zwar bedingt absehbar, können aber oft nicht umfahren werden. Speziell bei der Lieferung von Beton Fertigteilen spielt nicht nur das Gewicht, sondern auch die Abmessungen der entsprechenden Bauteile eine große Rolle. Im Fall der Textilbeton Fassadenelemente, die in dieser Arbeit behandelt werden, sind jedoch die Bauteilabmessungen nicht der kritische Faktor. Dies schränkt den Transport weniger ein, aber durch Baustellen und andere Behinderungen auf dem Transportweg kann es zu unabsehbaren Verzögerungen kommen, weshalb ein ausreichender Puffer eingeplant werden sollte.

## 6 LIEFERKETTE DES FASSADENSYSTEMS

Zur Lieferkette des Fassadensystems zählen alle Unternehmen, die an der Erzeugung des Endproduktes beteiligt sind. Im Rahmen dieser Arbeit wird die zu betrachtende Lieferkette jedoch auf diejenigen Unternehmen oder Organisationen reduziert, die direkt an der Produktion beteiligt sind. Das bedeutet, dass Materialzulieferer für die Vorfertigung nicht betrachtet werden, da davon auszugehen ist, dass die jeweiligen Unternehmen ihr Materialmanagement bereits optimiert haben (vgl. Wieland et al. 2011).

### 6.1 AKTEURE DER LIEFERKETTE

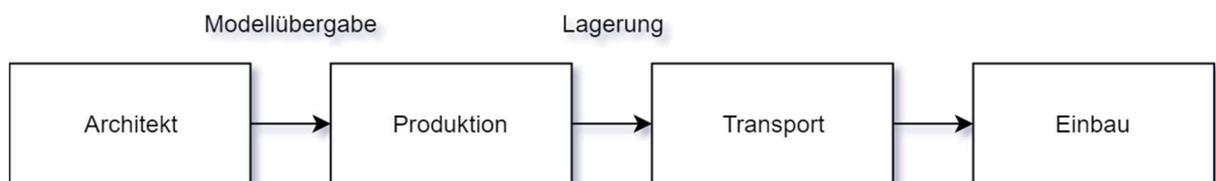


Abbildung 1: Vereinfachte Lieferkette des Fassadensystems

#### 6.1.1 Architekt

Der Architekt hat je nachdem welche Leistungsphasen er gemäß HAOI übernimmt unterschiedliche Aufgaben. Für das in dieser Arbeit behandelte Beispiel wird jedoch vor allem vorausgesetzt, dass der Architekt ein Gebäudemodell liefert, in dem alle Informationen vorhanden sind, die für die restlichen Akteure relevant sind. Für dieses Beispiel sind dafür vor allem die Geometrie und die verwendeten Materialien relevant. Zusätzlich dazu muss der Entwurf den Vorgaben des Bauherrn entsprechen und mit geltendem Baurecht vereinbar sein.

#### 6.1.2 Produktion

In der Produktion werden aus den Architektenplänen, bzw. dem Gebäudemodell die relevanten Gebäudeelemente herausgefiltert und daraus eine Werksplanung erstellt. In dem Beispiel der Fassaden beinhaltet dies eine Sinnvolle Gliederung der Plattenelemente, falls diese nicht schon in den Plänen des Architekten gegeben ist, und eine Aufteilung der Pfosten und Riegel, so dass diese alle anfallenden Lasten abtragen. Auf Basis der anfallenden Lasten muss ein Bewehrungsplan für die Fassadenelemente erstellt werden, der von einem Statiker geprüft werden muss.

Beim Entwurf von Fertigteilen sollte schon frühzeitig eine möglichst genaue Planung erstellt werden, bei der folgende Punkte zu beachten sind.

- Mögliche Standardisierung
- Einschränkung durch Transport
- Gute Montagemöglichkeiten
- Geringe Maßtoleranzen
- Montage und Verbindung der Elemente
- Statische Anforderungen

Zunächst wird eine Maximalgröße für die Elemente festgelegt. Diese orientiert sich an den Einschränkungen durch das Material, die Konstruktion, den Transportmöglichkeiten und den Einschränkungen durch die Produktionsanlagen. Steht die Maximalgröße fest können die bestehenden Gebäudestrukturen in einzelne Elemente unterteilt werden, die dann separat gefertigt werden können.

Auf Basis der erstellten Werksplanung können dann die nötigen Elemente produziert werden. In der Regel erfolgt dies in der Vorfertigung auf Abruf, da bei einem frühzeitigen Produktionsbeginn die Gefahr besteht, dass der Bauherr noch Änderungen wünscht, die dann nicht mehr berücksichtigt werden können.

### 6.1.3 Transport

Beim Transport müssen einige Faktoren beachtet werden, die sowohl die Liefermenge beeinträchtigen, als auch die Größe der einzelnen Elemente.

- Zulässiges Ladegewicht
- Zulässige Abmessungen
- Eventuelle Gewichtsbeschränkungen auf zu benutzenden Straßen
- Eventuelle Höhenbeschränkungen auf zu benutzenden Straßen

Beim Transport ist vor allem die Zeit ein relevanter Faktor. Kommen Bauteile zu früh an, müssen sie entweder auf dem LKW oder auf der Baustelle zwischengelagert werden. Vor allem letzteres ist nicht immer direkt möglich. Eine verspätete Lieferung hingegen sorgt direkt für eine Verzögerung des gesamten Bauablaufs, wenn kein Puffer eingeplant ist. Daher ist es von großer Bedeutung,

dass die bestellten Produkte möglichst genau zum vereinbarten Zeitpunkt bei dem Auftraggeber eintreffen.

#### 6.1.4 Einbau

Der Einbau wird maßgeblich von den Elementgrößen und von dem her auch vom Eigengewicht beeinflusst. Durch die geringe Plattenstärke und dem geringeren Gewicht können beim Einbau weniger Maschinen eingesetzt werden. Der Einbau des Fassadensystems sollte so einfach und standardisiert wie möglich sein, damit es beim Einbau zu möglichst wenig Komplikationen kommt. Je nach Ausschreibung wird der Einbau von der Baustellenbelegschaft oder von Angestellten des Fertigteilwerks übernommen. In beiden Fällen ist jedoch ein möglichst einfaches Einbauverfahren von Vorteil.

Wichtig für ein einfaches Einbauverfahren ist dabei nicht nur, dass der Einbau standardisiert wird, sondern auch, dass bereits möglichst viel in der Vorfertigung erledigt wurde. Der Idealfall ist dabei, dass die entsprechenden Bauteile auf der Baustelle nur noch in Position gebracht werden und befestigt. Alle weiteren Einbauschritte sollten in der Vorfertigung bereits abgearbeitet sein.

## 7 BAUBEGLEITENDE DOKUMENTATION

Durch den starken Fortschritt im Bereich der Materialforschung, aber auch der Rechentechnik und den gestiegenen Ansprüchen an Gebäude steigt die Komplexität von neuen Bauprojekten stark an. Diese gestiegene Komplexität und strenge Auflagen von offizieller Seite führen dazu, dass die Menge an zu verarbeitenden und archivierenden Daten und Dokumenten stark ansteigt. Diese Daten liegen in Papierform und digital vor, wobei der Zuwachs von Digitalen Daten in der Zukunft stärker ansteigen wird, als die Menge von Daten in Papierform. Um die Datenspeicherung und den Datenaustausch zu vereinfachen und zu strukturieren müssen Richtlinien aufgestellt werden, die festlegen, welche Dokumente für den Bau relevant sind. Besondere Zielsetzung der baubegleitenden Dokumentation ist es, die Daten, die während der Planungs- und Bauphase produziert werden zu strukturieren und über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bereitzustellen. (BBR 2008) Dies hat während der Bauphase noch keinen großen Einfluss auf den Erfolg eines Projektes, die Relevanz der vorhandenen Daten steigt erst nach Fertigstellung des Gebäudes an. Beispielsweise müssen bei Sanierungsprozessen auf die Daten zugegriffen werden können, die während der Planungs- und Bauphase erzeugt wurden. Eine vollständige und übersichtliche baubegleitende Dokumentation unterstützt dabei. Besonders dann, wenn potentiell Gefahrenstoffe verbaut wurden, kann dies einen großen Einfluss auf den Sanierungsprozess haben und auch erhebliche Gefahren mit sich bringen. Ohne die Daten aus der baubegleitenden Dokumentation gibt es kaum Möglichkeiten, auf diese Gefahren frühzeitig aufmerksam zu werden. Selbst wenn es sich jedoch bei den auftretenden Problemen nicht um gesundheitliche Risiken handelt, kommt es häufig zu Problemen, die hätten verhindert werden können, wenn schon während des Bauens die wichtigen Informationen archiviert worden wären. Hauptsächlich liegt dies daran, dass für lange Zeit der Bauprozess isoliert vom restlichen Produktlebenszyklus betrachtet wurde. Dementsprechend treten die oben genannten Probleme vor allem bei älteren Gebäuden auf, bei denen auf eine Dokumentation des Bauprozesses nur geringer Wert gelegt wurde. Für maximale Effektivität ist es allerdings erforderlich, dass die am Projekt Beteiligten darauf hinarbeiten, dass der gesamte Lebenszyklus optimiert wird und nicht nur die einzelnen Phasen.

Auch die Konstruktion der Gebäude verändert sich im Laufe der Zeit, was auf einen Wandel der Ansprüche zurückzuführen ist, die an ein Gebäude gestellt werden. Der Trend entwickelt sich hin zu Gebäuden, die mit vergleichsweise geringem Aufwand einer neuen Nutzungsart zugeführt werden können. Dies kam in der Vergangenheit weniger vor, wird aber aktuell immer beliebter. Das führt schlussendlich dazu, dass einige Unterlagen, die während der Planungs- und Bauphase erzeugt werden, über den gesamten Produktlebenszyklus und auch darüber hinaus existieren müssen.

Im Folgenden werden daher Regeln aufgelistet, die Erstellung und Archivierung von projektbezogenen Daten hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, Vollständigkeit, Einheitlichkeit, Transparenz, Aktualität und Verwendbarkeit unterstützt und optimiert (BBR 2008). Die vom BBR aufgestellten Regeln sind nicht allgemein verbindlich, sondern nur für Bauvorhaben des BBR, jedoch lassen sich die dort aufgestellten Regeln auch auf allgemeine Bauprojekte übertragen. Die Folgenden Richtlinien sind nicht als Eindeutige Bestimmung zu sehen, was eine Dokumentation zwangsläufig enthalten muss. Vielmehr stellen sie die Mindestanforderungen dar, die an eine Dokumentation gestellt werden sollten, damit erzeugte Informationen nicht verloren gehen. Zusätzlich wird die baubegleitende Dokumentation um wichtige Informationen erweitert, die ihre Funktion als Dokumentation erweitern sollen. Dadurch kann sie nicht nur nach der Bauphase genutzt werden, sondern bereits während der Bauphase um einen reibungslosen Ablauf zu unterstützen.

## 7.1 ANFORDERUNGEN AN DIE ALLGEMEINE BAUBEGLEITENDE DOKUMENTATION

In der Dokumentationsrichtlinie des BBR sind Dokumente aufgelistet, die zwangsläufig in einer Dokumentation enthalten sein müssen. Deren Inhalte sind je nach Projektfortschritt unterschiedlich. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Dokumentationsrichtlinien der ausführenden Firmen behandelt, da diese auch auf die Vorfertigung angewendet werden können.

Zur Dokumentation gehören demnach:

- Abnahme-, Einweisungs- und Prüfprotokolle
- Nachweise zur Bauart
- Produktdatenblätter, Sicherheitshinweise
- Bedienungs-, Wartungs-, und Pflegehinweise
  
- Hersteller-, Fabrikatsverzeichnisse
- Bestands- und Revisionszeichnungen/-pläne, Detailpläne, Schnitte, Montage-, Werkstatt- und Konstruktionszeichnungen

Da die baubegleitende Dokumentation über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes erhalten und genutzt werden soll, können aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre weitere Regeln aufgestellt werden, die für die Dokumentation gelten müssen. Diese Regeln werden in Anlehnung an die Grundsätze der ordnungsgemäßen Buchführung erstellt und an das Beispiel des Bauwesens angepasst.

#### Grundsatz der Vollständigkeit

In jedem Stadium des Projektes sind die benötigten und geforderten Dokumente von allen am Projekt Beteiligten einzureichen. Dadurch kann garantiert werden, dass der Zugriff auf die relevanten Dokumente durch alle Beteiligten möglich ist. Die geforderte Vollständigkeit der baubegleitenden Dokumentation bezieht sich dabei jedoch nicht nur auf die Planungs- und Bauphase, sondern auf den gesamten Lebenszyklus. Da die uneingeschränkte Aufbewahrung von Daten und Dokumenten auf Dauer ineffizient ist und die Übersichtlichkeit der Dokumentation negativ beeinflusst, wurden vom BBR in der Dokumentationsrichtlinie Regeln aufgestellt, die für die Aufbewahrung der jeweiligen Dokumente gelten.

Nr.	Bezeichnung	Grundlagen-RBBau 2003, HOAI, VOB/C	Aufbewahrungsfrist lt. K10 RBBau
01	Rechnungslegungsunterlagen (Große NUE- Maßnahmen), Abrechnungsunterlagen, Aufmaße	J RBBau	5 Jahre nach Abschluss der Prüfung durch BRH,
02	Vergabeunterlagen/unberücksichtigte Angebote, Bauaufträge, Verfahrensakten (VOL/ VOF)	VOB, HOAI, VOL, VOF	7 Jahre nach Rechnungslegung, bei baudurchführender Ebene
03	Vorplanung/Entwurfsplanung, Genehmigte Entscheidungsunterlagen ES- Bau	LP 2-3 HOAI E/F RBBau	3 Jahre nach Veräußerung der Liegenschaft bzw. Beseitigung des Bauwerks,
04	Genehmigungsplanung/ Entwurfsunterlagen EW- Bau	LP 4 HOAI E/F RBBau	
05	Ausführungsplanung/Detailplanung, Leistungsverzeichnisse mit Mengenerrechnungen, Leistungsbeschreibungen	LP 5-6 HOAI, E/F RBBau	
06	Tragwerksplanung/Prüfstatik, Festigkeits-/ Wärmebedarfsberechnung, Schall- und Brandschutznachweise, weitere bauphysikalische Nachweise und Gutachten, Baugrund- und Brandschutzgutachten etc.	§§ 62ff HOAI	
07	Lageplan ÖbVI, vermessungstechnische Unterlagen/Erläuterungen	§§ 96ff HOAI	
08	Zustimmungsunterlagen/Unterlagen über die öffentlich-rechtliche Behandlung/Bauaufsichtakten mit bauordnungs- und bauplanungsrechtlichen Vorgängen/Vorgängen sonstiger Rechtsbereiche	K 14 RBBau	
09	FBT-Verträge/Verträge mit freiberuflich Tätigen, Zweitschriften	HOAI, RBBau	
10	Schriftverkehr mit Nutzer/FBT/Ausführenden (soweit nicht innerhalb der Rechnungslegung), Vermerke, Berichte, Protokolle etc.	K 10 RBBau	
11	Haushaltsüberwachungslisten HÜL Bau, Kostenzusammenstellungen	RBBau	
12	Werk- und Montageplanungen, Werkstatt- und Konstruktionszeichnungen ausführender Firmen	VOB/C	
13	Bestands-/Revisionsunterlagen/Hochbau, Technische Anlagen und Außenanlagen, Pläne/Flächenberechnungen entspr. der Bauausführung, technische Beschreibungen, Dokumente der Objektüberwachung (Bautagebücher, Prüfzeugnisse, Abnahmeprotokolle etc.), Unterlagen ausführender Gewerke, Brandschutzkonzept/-pläne, digitale Baubestandsdokumentation	LP 8, 9 §§ 15/ 73 HOAI  H RBBau	bei baudurchführender Ebene
14	Dokumentation zur Bauübergabe, Unterlagen für die Grundstücksakte/Hochbau, Technische Anlagen und Außenanlagen, einschließlich Gewährleistungsfristen, Geräteverzeichnissen, öffentlich-rechtliche Abnahmebescheinigungen, Auflagen/Rechte/Pflichten aus Baumaßnahme etc.	H RBBau, VOB/C	wie vor,  bei zuständiger Verwaltungsdienststelle

Abbildung 2: Aufzubewahrende Unterlagen

Daraus wird ersichtlich, dass speziell die Unterlagen aufgehoben werden müssen, die auch noch lange nach Fertigstellung des Gebäudes, während des gesamten Produktlebenszyklus Verwendung finden. Dazu zählen vor allem Planunterlagen und Konstruktionszeichnungen, die für eine Änderung der Nutzung relevant sind. Bei Umbaumaßnahmen von älteren Gebäuden fehlen oft technische Zeichnungen und Informationen zum Bauwerk, was zu deutlich höherem Aufwand und Risiko führt. Rechnungen und Vergabedokumente verlieren nach Abschluss der Bauphase schnell an Bedeutung, weshalb diese nach 5 bzw. 7 Jahren vernichtet werden dürfen.

## Grundsatz der Richtigkeit

Die eingereichten Dokumente und Daten müssen nicht nur vollständig, sondern auch korrekt sein. Beim Erstellen der Dokumente müssen also geltende Regeln und Standards eingehalten werden. Zusätzlich zur Richtigkeit der einzelnen Dokumente ist es auch wichtig, dass nur die relevanten Dokumente eingereicht werden. Durch die steigende Komplexität der Bauprojekte steigt auch die Anzahl der Projektpartner und der zu verwaltenden Information. Es ist also wichtig ein Überangebot an Informationen zu vermeiden, um auch langfristig sicherzustellen, dass die Dokumentation noch ihren Zweck erfüllt. Die Dokumentationsrichtlinie des BBR behandelt auch noch weitere Punkte, die vor allem den Inhalt der jeweiligen Dokumente betreffen. Auf diese Inhalte kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden, jedoch liegen bereits genaue Spezifikationen vor, die mit den Vorgaben der BSI verglichen werden können. Die Inhaltliche Richtigkeit der einzelnen Dokumente ist von großer Relevanz, jedoch unterscheiden sich die Vorgaben von Projekt zu Projekt. Wie bereits erwähnt gelten die vom BBR aufgestellten Richtlinien nur für Bauprojekte des BBR. Dennoch ist es besonders für komplexe Bauprojekte essentiell, dass bereits im Voraus spezifiziert ist, welchen Inhalt die jeweiligen Dokumente haben müssen, aber auch, wie diese Organisiert werden müssen.

## Grundsatz der Klarheit und Übersichtlichkeit

Durch den starken Zuwachs an zu verarbeitenden Informationen muss sichergestellt werden, dass alle, die Zugriff auf die Informationen benötigen diesen ohne weiteres bekommen. Diese Problematik wird noch verstärkt durch den langen Geltungszeitraum der baubegleitenden Dokumentation. Auch Jahre, nachdem das Gebäude fertiggestellt wurde, muss es fachkundigen Dritten möglich sein, die relevanten Dokumente in angemessener Zeit zu finden.

Grundlage für eine übersichtliche Dokumentation ist ein simples, aber eindeutiges Ordnungssystem, welches von allen Beteiligten genutzt wird. Aus diesem müssen die folgenden Informationen schnell und eindeutig ersichtlich sein:

- Projekt
- Inhalt der Dokumente

- Autor
- Zugehöriger Fachbereich
- Projektphase
- Version

Sind all diese Daten im Ordnungssystem vermerkt, wird die Suche von Daten, sowohl in Papierform als auch digital, deutlich erleichtert. Auch können Informationen, die nach Abschluss der Bauphase erzeugt werden leichter in die bestehende Datenstruktur eingefügt werden. Dies ist wichtig um alle Fachbereiche in eine vollständige und ordentlich geführte Dokumentation zu integrieren, anstatt eine Dokumentation der jeweiligen Fachbereiche vorliegen zu haben, deren Struktur sich stark von den restlichen unterscheidet.

## 7.2 BAUBEGLEITENDE DOKUMENTATION FÜR DIE VORFERTIGUNG

Die Inhalte der Baubegleitenden Dokumentation die vom BBR als Richtlinie aufgestellt wurden, sind hauptsächlich, wie der Name bereits sagt, als Dokumentation zu sehen und sind daher während der Bauphase nicht von Nutzen. Um Teile der Dokumentation auch während des Bauprozesses zu nutzen und speziell die Vorfertigung zu unterstützen, kann die baubegleitende Dokumentation noch um zusätzliche Informationen erweitert werden, die jedoch nach Abschluss der Bauphase zeitnah vernichtet werden können.

Diese erweiterte baubegleitende Dokumentation muss also Informationen enthalten, die nicht nur in der Nutzungsphase Verwendung finden, sondern schon während der Bauphase. Daher werden im Folgenden potentiell nützliche Informationen erarbeitet, die in eine baubegleitende Dokumentation integriert werden können.

- Bauablaufplan
- Baufortschritt
- Baustelleeinrichtungsplan

Diese Dokumente können zentral auf einem Server abgelegt werden und aktualisiert werden. Dadurch können alle mit Zugang über den aktuellen Status auf der Baustelle informiert werden und ihre Abläufe dementsprechend anpassen.

### 7.2.1 Bauablaufplan:

Wird der Bauablaufplan zumindest im Groben bereits frühzeitig zur Verfügung gestellt, können die Subunternehmer ihre Produktion im Voraus planen. Dies ermöglicht gegebenenfalls angepasst an die Produktionskapazitäten einen frühzeitigen Start der Fertigung und kann somit Verzögerungen verhindern.

### 7.2.2 Baufortschritt:

Zur Unterstützung der Produktionsplanung der Vorfertigungsunternehmen kann ein Monitoring des Baufortschritts genutzt werden, um die unternehmensinternen Prozesse auf den erwarteten Liefertermin zu optimieren. Auf die vorgeschlagenen Optimierungen wird im Kapitel "Optimierung" genauer eingegangen. Die Informationen, die die baubegleitende Dokumentation im Bereich des Baufortschritts also enthalten sollte sind sowohl der Ist- als auch der Soll Baufortschritt.

### 7.2.3 Baustelleneinrichtungsplan:

Der Baustelleneinrichtungsplan sollte bereits frühzeitig den Vorfertigungsunternehmen zur Verfügung stehen. Speziell bei der Planung von Betonfertigteilen spielt die verfügbare Lagerfläche eine große Rolle. Noch wichtiger ist jedoch, dass die Vorfertiger wissen, welche Geräte auf der Baustelle eingesetzt werden, um planen zu können, welche Abmessungen ihre Fertigteile maximal haben dürfen. Wird zum Beispiel die maximale Traglast des verwendeten Krans überschritten, können die gelieferten Bauteile nicht eingebaut werden, was potentiell zu einem Stillstand auf der Baustelle führen kann.

Wird der gesamte Baustelleneinrichtungsplan zur Verfügung gestellt, ist viel unnötige Information enthalten. Daher muss festgelegt werden, welche Informationen zwingend nötig sind, um einen reibungslosen Ablauf zu garantieren. Die im Folgenden aufgezählten Informationen stellen lediglich einen Vorschlag da, der garantieren soll, dass die am Projekt Beteiligten tatsächlich nur die relevanten Informationen erhalten. Diese werden am Beispiel der Vorfertigung von Betonfertigteilen aufgezeigt:

Relevante Informationen:

- Verfügbare Lagerfläche
- Maximale Traglast des Krans
- Eventuelle Engstellen

Alle drei Punkte sind für die Hersteller von Fertigteilen wichtig, um ihre Bauteile so zu dimensionieren, dass sie einerseits möglichst wirtschaftlich in der Herstellung sind, aber andererseits auch auf der Baustelle problemlos eingebaut werden können. Die wichtigste Kenngröße ist dabei jedoch die maximale Traglast des Krans.

Stehen die oben genannten Informationen dem für die Vorfertigung verantwortlichen Unternehmen bereits frühzeitig zur Verfügung kann dieses die eigene Produktion besser auf die pünktliche Lieferung der bestellten Bauteile hin optimieren.

Durch das Hinzufügen dieser Informationen verändert sich die Aufgabe der baubegleitenden Dokumentation stark. Sie entwickelt sich von einer reinen Dokumentenansammlung hin zu einem Werkzeug, das genutzt werden kann um den gesamten Bauablauf und auch Lebenszyklus zu optimieren.

### 7.3 BIM ALS WERKZEUG ZUR ERSTELLUNG EINER BAUBEGLEITENDEN DOKUMENTATION

Um das volle Potential der baubegleitenden Dokumentation zur Prozessoptimierung zu nutzen, müssen Wege gefunden werden, wie die vorhandenen Daten möglichst automatisiert erzeugt werden können. Dazu wird untersucht, welche Mittel die neuen Building Information Modeling Technologien zur Verfügung stellen.

Durch den Einsatz von BIM Technologie können den einzelnen Akteuren deutlich mehr Informationen bereitgestellt werden, als bisher, was dazu führt, dass es schnell zu einem Überangebot an Informationen kommt. Dieses Überangebot macht es unter Umständen schwierig, schnell auf die relevanten Informationen zuzugreifen. Daher muss schon von vornherein geregelt werden, wer auf welche Informationen Zugriff hat. Je nach Größe des betrachteten Projekts gibt es unterschiedliche Projektbeteiligte. Für diese Arbeit wird angenommen, dass jedes Projekt mindestens die Folgenden Beteiligten hat.

- Bauherr

- Investor
- Architekt
- Projektsteuerer
- Fachplaner
- Unternehmen
- Zulieferer für Material

Bei kleineren Bauprojekten handelt es sich bei dem Bauherrn und dem Investor meist um eine natürliche Person, die beide Rollen im Projekt ausübt. Bei großen Bauprojekten sind die einzelnen Beteiligten in den meisten Fällen juristische Personen, die jeweils eine spezielle Rolle im Projekt ausüben. Zwar gibt es je nach Bauprojekt noch weitere Varianten, bei denen eine natürliche oder juristische Person mehrere Rollen innerhalb des Projektes einnimmt, im Rahmen dieser Arbeit wird angenommen, dass es sich bei den aufgelisteten Akteuren jeweils um eine natürliche oder juristische Person handelt.

Zur vereinfachten Zuordnung der Informationen werden die Projektbeteiligten in aktiv und passiv Beteiligte eingeteilt. Als aktiv an der Bauphase beteiligte werden in dieser Arbeit der Projektsteuerer, die Fachplaner, Unternehmen und Zulieferer für Material angesehen. Die passiven Beteiligten sind demnach die Bauherren, Investoren und Architekten.

### 7.3.1 Bauablaufplan:

Die Nutzung des Bauablaufplans als Teil der Dokumentation gestaltet sich im Vergleich zu den anderen Elementen der baubegleitenden Dokumentation für die Vorfertigung. Dazu wird lediglich eine zentrale Dateiablage benötigt. Da der Bauablaufplan von großer allgemeiner Relevanz ist, wird dieser allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt. Durch diese zusätzliche Information ist es den aktiv an der Bauphase beteiligten möglich, die internen Planungen anzupassen, eventuelle Kapazitätsprobleme frühzeitig ausfindig zu machen und darauf zu reagieren.

### 7.3.2 Baufortschritt:

Die Dokumentation des Baufortschritts wird als Erweiterung des Bauablaufplans betrachtet und hat dementsprechend ähnliche Aufgaben und Anforderungen. Durch das Monitoring des Baufortschritts soll erreicht werden, dass eventuelle

Ablaufprobleme bereits früh erkannt werden. Diese Probleme sollten, wenn sie früh genug erkannt werden nicht nur dem Bauunternehmen ersichtlich sein, sondern auch anderen Projektbeteiligten, damit diese darauf reagieren können. Verzögerungen in der Bauphase können erhebliche Auswirkungen auf die Inbetriebnahme des Gebäudes haben und sind deshalb von großem Interesse für Bauherren und Investoren. Der Architekt bekommt auch Zugang zum Baufortschritt, da er eventuelle Änderungen des Bauherrn je nach Projektfortschritt einarbeiten kann. Damit dies möglich ist, benötigt auch der Bauherr selbst Informationen über den Baufortschritt. Um sich auf eventuell verfrühte oder verspätete Lieferungen einzustellen, hilft es den ausführenden Unternehmen, dass sie bereits frühzeitig einschätzen können, ob Störungen im Projektablauf auftreten. Diese Identifikation von Problemen ist mit Hilfe eines dokumentierten Baufortschritts möglich.

Auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen an die Informationen zum Baufortschritt gestaltet sich eine standardisierte Dokumentation schwieriger, weshalb zuerst festgelegt werden muss, welchen Detaillierungsgrad man dafür anwenden sollte. Hierzu werden die bestehenden Definitionen für die Levels of Detail (LOD) aus dem British Standard PAS 1192-2 als Orientierung genutzt.

- Brief: Wenn ein grafisches Modell existiert, ist es wahrscheinlich, dass es aus einem bestehenden Asset-Informationsmodell entwickelt wurde. Andere Informationen können sich auf bestehende Gebäude und Strukturen beziehen (es kann auch Anforderungspläne geben).
- Concept: Die grafische Gestaltung kann einfache Volumenkörper und 2D-Symbole zur Darstellung allgemeiner Elemente darstellen.
- Definition: Objekte basieren auf generischen Darstellungen, und Spezifikationen und Attribute ermöglichen die Auswahl von Produkten.
- Design: Die Objekte werden in 3D mit der beigefügten Spezifikation dargestellt, zusammen mit Informationen über die Raumaufteilung für Betrieb, Zugang, Wartung, Installation und Reparatur.
- Build and Commission: Generische Objekte werden durch Herstellerobjekte ersetzt, wobei wesentliche Informationen wieder mit den Ersatzobjekten verknüpft und Herstellerinformationen hinzugefügt werden.
- Handover and close-out: Das Modell stellt das as-constructed Projekt dar und alle notwendigen Informationen sind in der Übergabedokumentation

enthalten, einschließlich Wartungs- und Betriebsdokumentation, Inbetriebnahmeprotokolle, Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen usw.

- Operation and in-use: Die Leistung wird anhand der Informationsanforderungen des Arbeitgebers und des Projektbriefes überprüft, und wenn Änderungen erforderlich sind, wird das Modell aktualisiert. Informationen über Wartung, Austauschtermine usw. können hinzugefügt werden.

Da für die Dokumentation des Baufortschritts relevant ist, welche Bauelemente bereits verbaut wurden, beziehungsweise, welche Bauphasen des Gebäudes bereits abgeschlossen sind, würde für die weitere Verwendung in der Vorfertigung eine Dokumentation des Detaillierungsgrades 2, Definition, des PAS 1192-2 genügen. Das Ziel der hier behandelten speziellen Dokumentation ist jedoch, dass sie zwar für den Fall der Vorfertigung als Optimierungswerkzeug genutzt werden kann, sie jedoch auch in allen anderen Lebenszyklusphasen noch von Relevanz ist, um unnötige Arbeit und auch Informationen zu vermeiden. Daher sollte ein höherer Detaillierungsgrad gewählt werden, um zu vermeiden, dass an der bereits erstellten Dokumentation später noch nachgebessert werden muss, oder Änderungen vorgenommen werden müssen. Die vorliegende Dokumentation sollte also mindestens dem Level 6, Handover and close-out, des PAS 1192-2 entsprechen, um alle notwendigen Informationen zu erhalten.

Die teilautomatisierte Dokumentation des Baufortschritts kann anhand eines einfachen Bauteilkatalogs erfolgen, der bereits vorhanden sein muss, um ein Leistungsverzeichnis zu erstellen. Dieser Bauteilkatalog soll neben Mengen und Preisen auch noch Informationen über die Fertigstellung der einzelnen Bauteile enthalten. Zum Erzeugen dieser Information werden den Bauteilen drei Status zugeordnet.

- Ausstehend
- In Produktion
- Abgeschlossen

Um ein Überangebot an Informationen zu vermeiden werden die möglichen Status vorerst auf ein Minimum reduziert, können aber für eine Praktische Implementierung noch beliebig erweitert werden. Zusätzlich zu den Produktionsstatus wären zum Beispiel auch Informationen zur Verzögerung möglich.

Die große Schwierigkeit liegt dabei darin, den Status den richtigen Bauteilen zuzuordnen. Um dieses Problem zu lösen können die Status manuell verändert werden, wenn ein Bauteil verbaut wurde. Dies ist jedoch mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und tendenziell sehr fehleranfällig, weshalb diese Methode ausgeschlossen wird. Eine deutlich effizientere Methode ist es, den Bauteilen eine Global Unique ID zuzuweisen, die mit einem Barcode oder QR-Code verknüpft ist. Dies ermöglicht es, die Bauteile mit einem Smartphone oder anderem Scangerät zu scannen und die Status in dem Bauteilkatalog automatisch zu aktualisieren.

Um die erzeugten Informationen auch für dritte lesbar zu machen, sollten die Informationen in Form eines 3D Modells visualisiert werden. Diese Visualisierung ist theoretisch simpel zu lösen, praktisch jedoch schwierig umzusetzen. Zur Verwendung als Baufortschrittsdokumentation wird das Modell zuerst komplett ausgeblendet. Die gebauten Abschnitte werden dann möglichst in Echtzeit aktualisiert und visualisiert. Durch die Visualisierung ist es auch Dritten leicht möglich den Baufortschritt zu verfolgen.

In der praktischen Anwendung sind jedoch mehr Schritte nötig um die schrittweise Visualisierung des Gebäudes als Dokumentation möglich zu machen. Dazu wird sie in drei Teilabschnitte unterteilt, die alle implementiert werden müssen, damit der Baufortschritt auf diese Weise dokumentiert werden kann.

- Anwender
- Schnittstelle
- BIM Viewer

#### 7.3.2.1 Anwender

Dem Anwender wird zur Dokumentation des Baufortschritts ein Mobiltelefon oder ein anderes Gerät zur Verfügung gestellt, welches in der Lage ist QR-Codes oder Barcodes zu scannen und die ermittelten Daten weiter zu senden. Den einzelnen Bauteilen wird dabei eine eindeutige ID zugeordnet. Diese ID wird dann an eine Datenbank übermittelt, zusammen mit der Information ob das Bauteil bereits fertiggestellt wurde oder sich noch in Produktion befindet. Zur Vermeidung von übermäßiger Arbeit werden die Bauelemente gruppiert. Beispielsweise werden bei dem behandelten Fassadensystem die Pfosten und Riegel Konstruktion als eine Gruppe behandelt und gescannt und die Fassadenelemente auch. Das Scannen und verarbeiten jedes einzelnen Bauteils würde zu unnötiger Arbeit führen. Bauteile die schnell gebaut werden und sich oft wiederholen, wie zum Beispiel die Pfosten der Pfosten Riegel Konstruktion werden daher nicht einzeln behandelt. Generell ist aber auch eine genauere Dokumentation möglich, aber in vielen Fällen nicht zweckmäßig. Diese Entscheidung muss vom jeweiligen Projektsteuerer getroffen werden und kann je nach Projekt unterschiedlich sein. Ein höherer Detaillierungsgrad bietet sich nur dann an, wenn mehrere Zulieferer an der Herstellung einer Konstruktion beteiligt sind, die aus vielen schnell zu bauenden Elementen besteht. Es wird jedoch in jedem Fall empfohlen die Dokumentation für alle Bauteile mit tragender Funktion mit einem hohen Detaillierungsgrad durchzuführen, da die tragenden Bauteile einen kritischen Prozess im Bauvorhaben darstellen und von großer Bedeutung für nachfolgende Prozesse sind.

#### 7.3.2.2 Schnittstelle

Die Schnittstelle zwischen Anwender und Visualisierung wird in Form einer Datenbank realisiert. In dieser Datenbank werden den Bauteilen die gescannten

Status zugeordnet und aktualisiert. Die Datenbank ist dann die Basis für die teilweise Visualisierung in einem BIM Viewer.

#### 7.3.2.3 BIM Viewer

Der BIM Viewer muss in der Lage sein, ein IFC Modell fehlerfrei einlesen und darstellen zu können. Zusätzlich muss es die Option geben, dass einzelne Bauteile ein- und ausgeblendet werden können. Unter Zuhilfenahme eines Plugins können nun die Elemente, die in der Datenbank den Status "Abgeschlossen" besitzen visualisiert werden und ermöglichen dadurch ein sehr einfaches Monitoring des Baufortschritts.

### 7.3.3 Baustelleneinrichtung:

Die Übergabe der Informationen zur Baustelleneinrichtung gestaltet sich schwieriger, als die Dokumentation von Bauablaufplan und Baufortschritt. Es gibt jedoch drei Möglichkeiten dieses Problem mit wenig Mehraufwand zu lösen.

Die Baustelleneinrichtungsdokumentation kann zum Beispiel in reiner Plan Form als 2D bzw. 3D Plan erfolgen. Hierbei sind alle Relevanten Informationen bereits im Plan vorhanden. Der Vorteil daran ist, dass lediglich der Plan übergeben werden muss und alle Informationen in einem Dokument vorhanden sind. Jedoch kann die Datenübergabe in einem Dokument zu Problemen führen, da zu viele Informationen in einem einzelnen Dokument gesammelt sind. Dies ist gleichzeitig ein Vorteil und ein Nachteil. Durch die vielen gesammelten Informationen sind die wichtigen Informationen schwierig zu finden, weshalb diese Form der Dokumentation als suboptimal angesehen wird.

Die zweite Möglichkeit ist es, die Baustelleneinrichtung gänzlich ohne Plan zu dokumentieren. Mit dieser Methode können den jeweiligen Projektbeteiligten präzise Informationen bereitgestellt werden. Im Fall der Vorfertigung wäre dies zum Beispiel die maximale Traglast des Krans oder die maximale Lagerfläche. Diese Form der Dokumentation ist gut für Zulieferer und Subunternehmer geeignet, da ihnen schnell Informationen zur Verfügung stellen. Jedoch ist das Erzeugen der Informationen mit einem großen Mehraufwand seitens des Planers oder des ausführenden Unternehmens verbunden.

Die dritte Möglichkeit die Baustelleneinrichtung zu dokumentieren ist es die beiden oben genannten Verfahren zu kombinieren. Die geometrischen Informationen der Baustelleneinrichtung kann in einem vereinfachten 2D Plan übergeben werden, so dass eventuell relevante Maße schnell herausgelesen werden können. Die genauen Informationen zu den Geräten auf der Baustelle können dann als einfache Tabelle aufgelistet werden, in der jedem Gerät eine Position auf der Baustelle zugeordnet werden kann und die relevanten technischen Daten angehängt werden können. Dieses Verfahren hält den Mehraufwand gering und liefert gleichzeitig übersichtliche und vollständige Informationen.

Auf Grund des guten Zeitaufwand-Nutzen Verhältnisses wird die dritte Variante vorgeschlagen, wenn eine Baustelleneinrichtung, für die am Projekt beteiligten dokumentiert werden soll. Die Baustelleneinrichtung muss dabei lediglich den aktiv an der Bauphase beteiligten zur Verfügung gestellt werden.

## 8 OPTIMIERUNG

Bevor mit der Optimierung begonnen werden kann, müssen zunächst die Grundlagen dafür gelegt werden. Als Grundvoraussetzung für den Optimierungsprozess muss ein Ziel festgelegt werden, welches durch die Optimierung der Lieferkette erreicht werden soll.

Mögliche Ziele sind:

1. Lieferterminoptimierung/Einbau/Fertigstellung
2. Produktionszeitoptimierung
3. Optimierung des Materialeinsatzes
4. Qualitätsoptimierung

Weiterhin soll die in dieser Arbeit angesprochene Optimierung vor allem die vorhandenen Ressourcen besser ausnutzen. Ziel ist es nicht, durch die Anschaffung von Maschinen oder neuen Fertigungshallen die Produktionskapazität zu erhöhen. Die vorhandenen Kapazitäten sollen besser genutzt werden ohne, dass große Investitionen nötig sind.

### 8.1 ZIELSETZUNG

Außerdem muss festgelegt werden, wessen Interessen bei der Optimierung vertreten werden. Entweder die des Vorfertigungsunternehmens oder die des Bauherrn und des ausführenden Unternehmens. Während für die Vorfertigung hauptsächlich die Produktionszeit, der Materialeinsatz und die Qualität relevant sind, ist für die anderen Parteien vor allem wichtig, dass Bauteile pünktlich und in entsprechender Qualität auf der Baustelle eintreffen und eingebaut werden. Die Dauer des eigentlichen Produktionsprozesses ist dabei nicht oder nur wenig von Interesse, solange es keine negative Auswirkung auf die Kosten oder den Liefertermin gibt.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen unterschiedliche Ansätze gewählt werden. In der vorliegenden Arbeit soll ein Konzept erstellt werden, das die gesamte Lieferkette der vorgefertigten Bauteile betrachtet werden. Es wird angenommen, dass die Hersteller von Fassadensystemen ihren internen Produktionsprozess bereits stark optimiert haben hinsichtlich Zeit, Materialeinsatz und Qualität, weshalb im Folgenden der Fokus auf der Optimierung hinsichtlich des

Einbautermins liegt, da dieser einen starken Einfluss auf den Bauablauf hat und intern von den Unternehmen weniger behandelt wird. Der Einbautermin ist für den Bauherrn und das ausführende Bauunternehmen von größerer Bedeutung, als die Prozesse im Vorfertigungsunternehmen, weshalb die Zielstellung ein reibungsloser Einbau bei gleichbleibender oder höherer Qualität und kontrollierbaren Kosten ist. Dabei ist nicht nur relevant, wie die jeweiligen Prozesse optimiert werden können, sondern auch, wie das Zusammenspiel einzelner Akteure verbessert werden kann und welche Informationen bereits früh in der Lieferkette verfügbar sein müssen, um einen reibungslosen Ablauf zu garantieren.

## 8.2 BEWERTUNGSSYSTEM

Um den Prozess zu bewerten müssen Kriterien eingeführt werden, anhand derer der Ablauf des vorliegenden Prozesses ausgewertet werden kann. Ziel ist dabei Verzögerungen bei dem Einbau zu vermeiden. Verzögerungen können schon früh in der Lieferkette auftreten und können demnach auch später noch ausgeglichen werden, wenn die restlichen Prozesse fehlerfrei ablaufen.

Als Zielkriterium wird angenommen, dass der Einbau ohne Verzögerung erfolgt.

Den Teilprozessen der Lieferkette wird jeweils ein Zahlenwert  $x_i$  zugeordnet, der für die Verzögerung nach Abschluss des Prozesses steht. Dabei steht  $x_i < 0$  für einen früheren Abschluss und  $x_i > 0$  für einen späteren Abschluss.  $x_i = 0$  steht für einen Prozess, der wie geplant abgeschlossen wurde. Dabei steht  $x_i$  nicht für eine messbare Einheit wie Tage, sondern wird einer abstrakten Bewertungsgröße zugeordnet, die Aufschluss darüber gibt, ob der Prozess wie geplant abgelaufen ist oder nicht. Eine exakte Messung der Verzögerung kann vorgenommen werden, ist aber weniger aufschlussreich, da für die einzelnen Schritte unterschiedliche Verzögerungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. So ist es nicht problematisch, wenn ein Gebäude zwei Stunden später als geplant fertig gestellt wird. Werden aber die Fassadenelemente nur wenige Stunden zu spät angeliefert, kann dies zu Verzögerungen um einen ganzen Arbeitstag führen.

Die jeweiligen Verzögerungen  $x_i$  werden aufaddiert und es gilt:

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq 0$$

Ergibt also die Summe aus  $x_i = 0$ , bedeutet das, dass der Einbau zum optimalen Zeitpunkt erfolgt ist. Da kleine Störungen des Ablaufs nicht ausgeschlossen und vermieden werden können, müssen noch zusätzliche Regeln eingeführt werden, die eine genauere Analyse und Bewertung ermöglichen. Für die unterschiedlichen Teilprozesse gelten unterschiedliche Regeln, anhand derer der Ablauf bewertet werden kann.

	Entwurf	Produktion	Transport	Einbau
Optimal	$X_i \leq 0$	$X_i = 0$	$X_i = 0$	$X_i = 0$
Gut	$X_i = + 1$	$X_i = + 1$	$X_i = \pm 1$	$X_i = + 1$
Ausreichend	$X_i = + 2$	$X_i = + 2$	$X_i = \pm 2$	$X_i = + 2$
Schlecht	$X_i = + 3$	$X_i = + 3$	$X_i = \pm 3$	$X_i = + 3$

Tabelle 1: Bewertungssystem

Erklärungen zum Bewertungssystem:

Entwurf:

Für den Entwurf wird angenommen, dass er nicht zu früh fertig gestellt werden kann, daher wird der optimale Bereich für  $x_i$  auf  $x_i \leq 0$  festgelegt. Eine frühe Fertigstellung des Entwurfs kann sogar erhebliches Potential für die Optimierung der darauffolgenden Prozesse bergen, da die weiteren Arbeitsschritte besser durchgeplant werden können und die ausführenden Unternehmen sich nach dem Bedarf richten können. Eine spätere Fertigstellung des Entwurfs hingegen wirkt sich direkt negativ auf alle nachfolgenden Prozesse aus und muss daher später

wieder ausgeglichen werden oder führt zu einer Verzögerung der Fertigstellung des Bauwerks.

#### Produktion:

Die Produktion wird im besten Fall just in time beendet, so dass Lagerplätze reduziert werden können.

Durch die längeren Herstellungsprozesse bei vorgefertigten Betonfassadenelementen kann auf Lagerplätze nicht vollständig verzichtet werden, da ansonsten die Produktionskapazität deutlich erhöht werden müsste, um mit dem Baufortschritt mithalten zu können. Eine spätere Fertigstellung wird demnach als suboptimal betrachtet, da sich dies direkt auf den Baufortschritt auswirkt. Eine frühere Fertigstellung ist generell unproblematisch, sofern Lagerkapazitäten im Vorfertigungsunternehmen vorhanden sind. Dennoch kann auch eine deutlich früher beendete Produktion zu Problemen führen, wenn dadurch eventuell nötige Änderungen nicht mehr berücksichtigt werden können.

#### Transport:

Der Transport erfolgt in der Regel so, dass die Bauteile auf der Baustelle möglichst nicht zwischengelagert werden müssen, da bereits Lagerplatz für andere Materialien etc. benötigt wird. Erfolgt der Transport zu früh, ist es möglich, dass Bauteile entweder zwischengelagert werden müssen, oder, dass ein Abladen gar nicht erst erfolgen kann. Sind die Bauteile also vor dem vereinbarten Zeitpunkt da, wirkt sich dies nicht schlecht auf den Prozess aus, kann aber Probleme in der Lagerhaltung nach sich ziehen, weshalb ein früher Transport auch als potentiell Problem gesehen wird.

Einbau:

Für den Einbau gelten auch besondere Kriterien, da ein verfrühter Einbau generell nicht problematisch ist und zu keiner Verzögerung führt, sofern ein Einbau überhaupt früher als geplant möglich ist. Ein verspäteter Einbau hingegen führt unmittelbar zu einer Verzögerung des Bauablaufs und damit zu einer verspäteten Fertigstellung des Gebäudes. Demnach wirkt ein früherer Einbau generell wünschenswert. Ein verfrühter Einbau kann dazu führen, dass die darauffolgenden Gewerke an dem früheren Fertigstellungstermin noch nicht in der Lage sind, die nächsten Arbeiten auszuführen. Durch den frühen Einbau entsteht daher ein Puffer, der sich potentiell positiv auf die Fertigstellung des Gebäudes auswirken kann. Da die Fassade meist der letzte Schritt für den Rohbau ist, wirkt sich eine frühe Fertigstellung positiv auf den gesamten Bauablauf aus. Gelagertes Material und Werkzeug und auch das Personal kann anderweitig eingesetzt werden, was zu einer höheren Produktivität führt.

### 8.3 NOTWENDIGE INFORMATIONEN

Um die vorgestellten Prozesse aufeinander abzustimmen, ist ein hohes Maß an Informationsaustausch nötig. Daher muss zunächst spezifiziert werden, welche Informationen den jeweiligen Akteuren zur Verfügung stehen müssen, um die internen Prozesse auf die externen Anforderungen abstimmen zu können.

Entwurf:

Der Gebäudeentwurf wird vom Architekten oder Architekturbüro erstellt, das diesen den baurechtlichen Anforderungen genügt, aber auch den Anforderungen des Bauherrn. Der Gebäudeentwurf wird als Grundlage für alle späteren Planungen genommen. Daher wird beim Gebäudeentwurf besonders großer Wert auf die Qualität der Arbeit gelegt. Eventuelle Missverständnisse können im weiteren Bauverlauf und Produktlebenszyklus zu erheblichen Kosten führen.

### Produktion:

Die Produktion benötigt Informationen aus dem Gebäudeentwurf, aber auch von der Baustelle. Liegt der Gebäudeentwurf als korrektes 3D-Modell vor, ist es den Vorfertigungsunternehmen möglich, die Geometrie der Bauteile direkt aus dem Modell zu übernehmen, anstatt sie altmodisch aus 2D-Plänen auszulesen, was nicht nur langsamer ist, sondern auch deutlich fehleranfälliger. Mit einem fehlerfreien Gebäudemodell kann daher die Werksplanung deutlich vereinfacht werden.

Des Weiteren sollte das Vorfertigungsunternehmen auch Zugriff auf die baubegleitende Dokumentation oder zumindest auf das Bautagebuch haben, um den Baufortschritt zu überwachen, was es dem Unternehmen ermöglicht, die Werksplanung an den geplanten Liefertermin anzupassen.

Dieser Prozess wird in der Optimierung näher betrachtet.

### Transport:

Für einen problemlosen Transport ist es hauptsächlich wichtig, dass Informationen aus der Produktion und der erforderliche Liefertermin auf der Baustelle bekannt ist. Zusätzlich sollten Informationen zum Verkehr eingeholt werden, was aber nur nebensächlich ist, da auf das Verkehrsaufkommen kein Einfluss genommen werden kann und die Lieferroute nur bedingt angepasst werden kann. Jedoch sind Informationen zum Verkehrsaufkommen ein gutes Mittel, um die internen Prozesse so abzustimmen, dass andere Prozesse sich nicht verzögern.

### Einbau:

Die für den Einbau benötigten Informationen sind relativ einfach zu bestimmen. Benötigt werden dafür vor allem die Produktdatenblätter der einzubauenden Bauteile. Diese müssen auch Einbauanleitungen und Sicherheitshinweise enthalten.

## 8.4 OPTIMIERUNG DER PROZESSE UNTER EINSATZ VON BIM

Durch die Fortschritte im Bereich des Building Information Modelling ergeben sich für die Projektbeteiligten in jedem Lebenszyklus eines Bauwerks neue Möglichkeiten, die erforderlichen Informationen bereit zu stellen und zu verwalten. Ziel ist es, die erzeugten Daten und Informationen möglichst zentral zu speichern, um die Verwaltung von Zugriffsrechten und der Informationsdistribution besser zu organisieren.

### 8.4.1 Entwurf

Beim Entwurfsprozess kann weniger von einer Optimierung gesprochen werden, als vielmehr von einer Standardisierung. Dabei muss geregelt werden, welche Anforderungen an ein Gebäudemodell, das vom Architekten geliefert wird gestellt werden muss. Einfache 2D Pläne der Grundrisse und Schnitte eines Gebäudes reichen heutzutage nicht mehr aus, um Gebäude wachsender Komplexität ausreichend darzustellen. Um nur die nötigen Daten zu liefern muss demnach das nötige LOD festgelegt werden, in dem das Modell vorliegen muss. Da für die Werksplanung des Vorfertigungsunternehmens die Ausführungsplanung des Gebäudes wichtig ist, muss also ein Modell von mindestens LOD400 vorliegen. (AIA 2013). Anders als im British Standard Pas-1192 bedeutet LOD in diesem Fall Level of Development und bezieht sich weniger auf das Gesamtmodell und vielmehr auf die einzelnen Bauelemente. Hierbei wird der Entwurfsprozess nicht nur als eigenständiger Prozess betrachtet, sondern als Vorstufe zu dem projektkritischen Austauschprozess und der Planübergabe für die Werksplanung der Vorfertigung. Die Nutzung von BIM Technologie ermöglicht es, alle für die Vorfertigung nötigen Details in einem Austauschmodell zu vereinen. Aus dem Modell sollte also ersichtlich sein:

- Gebäudegeometrie
- Bauteilgeometrie (für Schalplanung)
- Bewehrungsplanung

Wird die Bewehrungsplanung von dem Vorfertigungsunternehmen selbst durchgeführt, ist es nötig, dass das Austauschmodell in einem Format vorliegt, in dem Änderungen vorgenommen werden können. Für diesen Daten Austausch wird

das IFC-Dateiformat vorgeschlagen, welches ein kollaboratives Arbeiten verschiedener Gewerke an einem Modell ermöglicht.

### 8.4.2 Produktion

Die Produktion kann unter Zuhilfenahme der erweiterten baubegleitenden Dokumentation, die in den vorangegangenen Kapiteln dieser Arbeit beschrieben wurde, optimiert werden. Hauptsächlich basiert die Optimierung der Produktion dabei auf einem Monitoringsystem, welches es dem Vorfertigungsunternehmen erlaubt, den Baufortschritt zu überwachen und die interne Werksplanung auf den erwarteten Liefertermin anzupassen.

Im Allgemeinen findet die Produktion von Fertigteilen wie den Betonfassadenelementen des vorgestellten Systems auf Abruf ab, da nachträgliche Änderungen häufig nicht ausgeschlossen werden können. Allerdings ermöglicht es das behandelte Fassadensystem eine Aufteilung in standardisierte Bauteile und nicht standardisierte. Die standardisierten Bauteile sind in der Unterkonstruktion der Fassade, einer Pfosten Riegel Konstruktion enthalten. Diese sind größtenteils unabhängig vom Auftrag und können demnach je nach vorhandener Produktions- und Lagerkapazität des jeweiligen Unternehmens vorproduziert werden. Für diese vorgeschlagene optimale Ausnutzung wird im Folgenden ein Produktionsablauf dargestellt und erläutert.

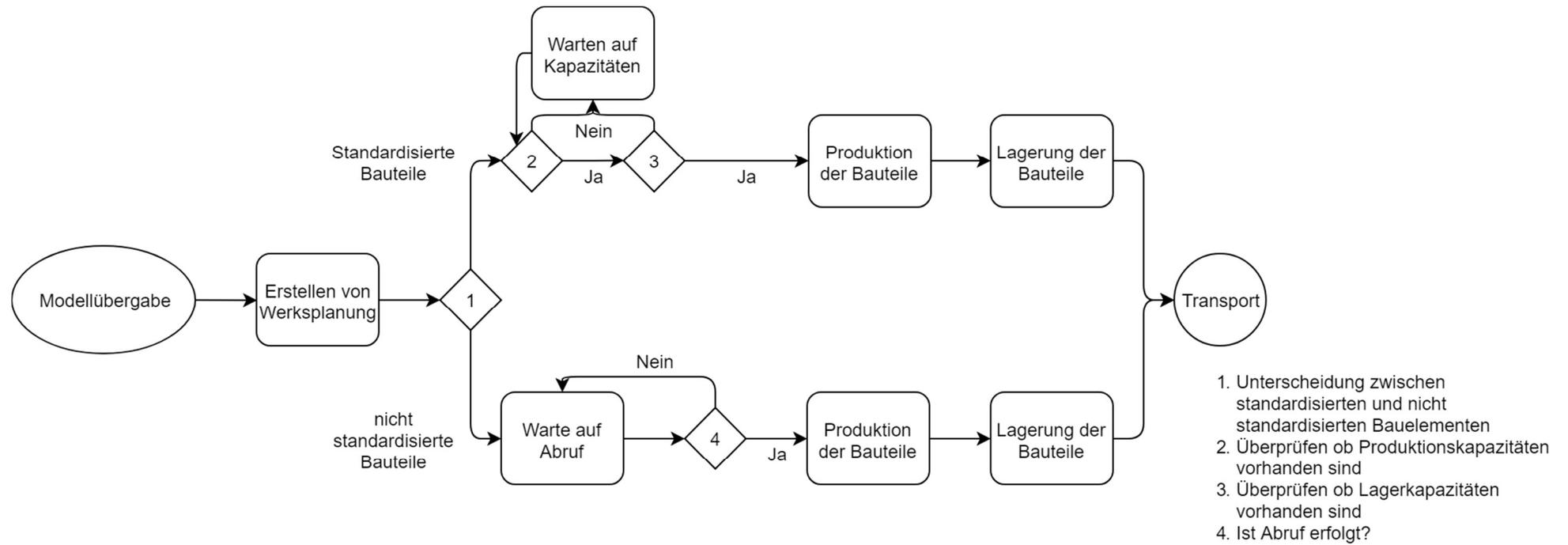


Abbildung 3: Optimierter Produktionsprozess

Wird der Produktionsprozess in standardisierte und nicht standardisierte Bauteile aufgeteilt ermöglicht dies, die Teile des Auftrags schon im Voraus herzustellen, bei denen keine Änderungen mehr zu erwarten sind. Dabei gilt es zu beachten, dass immer ein Puffer mit eingeplant wird, falls kurzfristig eingegangene Aufträge abgearbeitet werden müssen. Diese kurzfristigen Aufträge sind sehr lukrativ und sollten daher, wenn möglich immer angenommen werden. Aus diesem Grund ist ein frühzeitiger Produktionsbeginn der standardisierten Bauteile empfehlenswert, da die verfügbaren Produktionskapazitäten auf diese Weise optimal ausgenutzt werden können. Bei einer Produktion auf Abruf kann es durch eine hohe Anzahl an gleichzeitigen Abrufen zu einer Überlastung der Produktionskapazität kommen. Eine derartige Überlastung der Produktionskapazität kann oft nur durch Überstunden oder einen sorgfältig geplanten Puffer ausgeglichen werden.

### 8.4.3 Einbau

Wird ein Zentraler Server zur Verwaltung aller anfallenden Dateien verwendet, können die Produktdatenblätter der vorgefertigten Bauteile dort hochgeladen werden und mit den entsprechenden Positionsnummern des Leistungsverzeichnis verknüpft werden. Das ermöglicht es den ausführenden Bauunternehmen jederzeit Zugriff auf die relevanten Dokumente zu haben. Aber nicht nur für den Einbau ist eine zentrale und gut strukturierte Ablage der Produktdatenblätter gemäß den bereits aufgestellten Anforderungen nötig. Die in der Vorfertigung erzeugten Daten sind oft auch für den gesamten Produktlebenszyklus relevant, da dies eine Wartung und Sanierung des Fassadensystems erleichtert oder erst möglich macht. Um einen fehlerfreien Informationsaustausch zwischen vorfertigenden- und ausführenden Unternehmen muss auf dem Projekt Server ein Dateiverwaltungssystem existieren, das es den vorfertigenden Unternehmen ermöglicht die Produktdatenblätter und andere relevante Informationen zu den Bauteilen ohne ein Eingreifen der anderen Projektteilnehmer auf dem Server abzulegen und mit den Entsprechenden Positionsnummern zu verknüpfen. Hierbei gilt es vor allem auch zu vermeiden, dass für einen einfachen Datenaustausch das Eingreifen mehrerer Personen nötig ist. Ein Ziel für zukünftige Arbeiten wäre es, die Produktdatenblätter automatisch den entsprechenden Positionsnummern zuzuordnen.

## 8.5 OPTIMIERUNG DER EXTERNEN PROZESSE

Da die Herstellung und der Einbau von Fassadensystemen das Zusammenwirken mehrerer Akteure erfordert ist es wichtig, dass nicht nur die einzelnen Produktionsschritte stark optimiert sind, sondern auch, dass das Zusammenspiel dieser.

Bei der Modellübergabe muss vor allem bereits sichergestellt sein, dass das vorhandene Modell den Anforderungen entspricht. Für die weitere Optimierung wird davon ausgegangen, dass dies der Fall ist, da die Anforderungen bereits aufgelistet wurden.

Für den Austausch muss sichergestellt werden, dass das übergebene Modell, das aktuell gültige ist, da es sonst später zu Problemen in der Fertigung oder beim Einbau kommen kann. Um dies sicherzustellen, kann man sich an die Vorschläge des British Standard BS\_1192\_2007\_A2\_2016 halten.

Um sicherzustellen, dass die bereitgestellten Informationen in Form des Modells auch den relevanten Informationen entsprechen, werden zwei Freigabestufen eingeführt. Die erste Stufe der Freigabe findet dabei durch die jeweiligen Bearbeiter statt, dazu zählen auch Statiker etc., die sich noch einmal zu versichern haben, dass das vorliegende Modell den Anforderungen entspricht. Nach erfolgter interner Freigabe wird das Modell an das Projektteam inklusive Kunden weitergegeben. Die Aufgabe des Kunden oder des Projektverantwortlichen ist es dann, die vorliegenden Informationen zu prüfen und entweder Änderungen zu beantragen oder freizugeben. Erst nach der Freigabe durch den Kunden ist das entsprechende Gebäudemodell für die Bauausführung und damit auch die Vorfertigung geeignet.

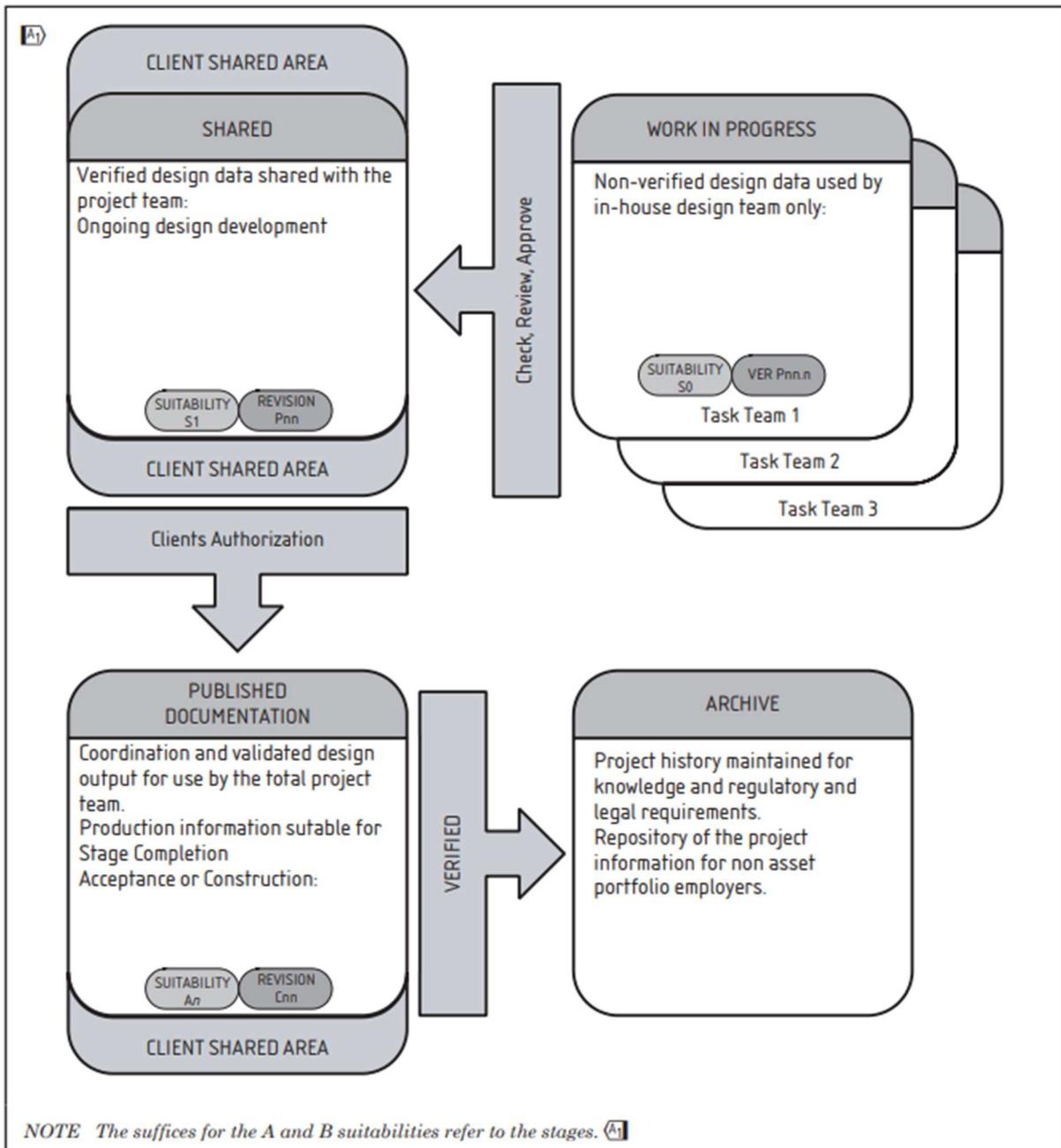


Abbildung 4: Modellübergabe

## 9 AUSWERTUNG UND AUSBLICK

Aus der vorhergehenden vorgeschlagenen Optimierung, der in der Lieferkette des ausgewählten Fassadensystems enthaltenen Prozesse wird ersichtlich, dass es bei allen Akteuren der Lieferkette Optimierungsbedarf und -potential gibt. Dieses Potential gilt es unter möglichst geringem Mehraufwand zu nutzen. Das meiste Potential gibt es dabei in Bereichen des Entwurfs, der Produktion und dem Einbau. Zudem ergibt eine Analyse des eingeführten Bewertungssystems, dass ein rechtzeitiger Abschluss dieser drei Prozesse besonders kritisch für den gesamten Projektfortschritt ist. Dadurch ist eine Optimierung hinsichtlich des Fertigstellungsdatums an dieser Stelle besonders relevant. Die Prozesse können ohne hohen Mehraufwand intern optimiert werden und aufeinander abgestimmt werden, wenn sich die Projektbeteiligten schon im Voraus auf einzuhaltende Projektstandards einigen und diese auch einhalten. Da die Produktion von Fassadensystemen und Fertigteilen im Bauwesen ebenso vielfältig ist, wie die Bauwerke selbst, sind die vorgeschlagenen Optimierungen nicht auf alle Fassadensysteme anwendbar. Eine wichtige Prämisse für die Optimierung der Fertigung ist dabei eine mögliche Standardisierung der Produktion, oder einem Teil der Produktion. Je mehr dabei standardisiert werden kann, desto stärker wirken sich die Optimierungen auf den Gesamtprozess aus. Ausreichende Lagerkapazitäten sind eine weitere Grundvoraussetzung für die Optimierung des Produktionsprozesses. Ohne ausreichende Kapazitäten und Puffer ist eine Produktion der standardisierten Bauteile riskant und demnach wenig empfehlenswert.

Die restlichen Optimierungsansätze haben eine geringere Auswirkung auf den Gesamtprojektfortschritt, sind aber allgemeingültiger. Beispielsweise profitieren von einem effizienten Informationsaustausch die Beteiligten in jeder der Projektphasen. Allerdings kommt es durch Probleme nicht zwangsläufig zu einer Verzögerung des Projekts. Im Falle der Modellübergabe sind Missverständnisse oft leicht zu beheben. Dennoch können sie sich negativ auf den Projektfortschritt auswirken, weshalb eine Optimierung empfehlenswert ist. Besonders die Modellübergabe lässt sich durch eine Standardisierung des Austauschprozesses leicht und ohne viel Mehraufwand optimieren, so dass Fehler und Missverständnisse weitestgehend ausgeschlossen werden können.

Generell hat sich gezeigt, dass durch kleine Modifikationen an den Abläufen im Projekt große Verbesserungen erzielen lassen. Auch wenn die Anwendbarkeit der Ergebnisse dieser Projektarbeit durch den speziellen Charakter der Carbon bewehrten Betonfertigteilfassade eingeschränkt ist, können Teilergebnisse auf eine Vielzahl von anderen Lieferketten angewendet werden und liefern dennoch zufriedenstellende Ergebnisse. Die Aufteilung der Produktion in standardisierte- und auf den Kunden zugeschnittene Bauteile bietet sich für eine Vielzahl der Fassadenhersteller an, da sich der Trend von Produkten immer stärker hin zu individualisierter Massenware entwickelt. Es werden also Produkte massentauglich hergestellt, die durch kleine Veränderungen auf den Kunden zugeschnitten werden. Ähnlich können und sollten moderne Fassadensysteme geplant und konstruiert werden um das volle Potential der vorgeschlagenen Optimierungen auszunutzen.

Eine allgemeingültige Standardisierung ist hierbei allerdings nicht als realistisch zu betrachten, jedoch sollten zumindest innerhalb eines Projektes Standards festgelegt werden, die eine Verbesserung der Nutzung von Ressourcen zulässt.

### **Ausblick**

Durch die bereits angesprochene Entwicklung von Produkten hin zur individualisierten Massenware wird die getrennte Produktion von standardisierten Produkten und individualisierten Produkten in Zukunft vermutlich noch mehr an Relevanz gewinnen. Besonders, wenn die Aufteilung zu einer besseren Ausnutzung der verfügbaren Arbeitskraft führt, können diese anderen Teilbereichen zugewiesen werden, wenn die Auftragslage es erfordert.

Ziele für zukünftige Forschungsarbeiten ist es, die Anwendbarkeit der erarbeiteten Ergebnisse auf mehr Teilbereiche des Bauwesens zu untersuchen und gleichzeitig zu überprüfen, wie groß der Einfluss der Optimierung auf die Teilprozesse und auf das Gesamtprojekt ist. Auch kann ein gesamtheitlicher Lösungsansatz gewählt werden um die Optimierungsvorschläge weiter zu verfeinern. Hauptziel dieser Arbeit war es, die Lieferkette eines Fassadensystems hinsichtlich der Fertigstellung zu optimieren. Der Einfluss auf andere Kenngrößen wurde dabei nur dahingehend beschränkt, dass sich die Optimierung nicht negativ auf andere Ziele auswirkt. Ein interessantes Ziel ist es daher, die Prozesse so zu optimieren, dass mehrere der in Kapitel 8 genannten Ziele erreicht werden, ohne die verbleibenden negativ zu beeinflussen.

Eine intelligente Nutzung der vorhandenen Ressourcen ist essenziell für den Fortschritt im Bauwesen. Das Ressourcenmanagement wird vor allem durch gestiegene Anforderungen an Gebäude hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Effizienz relevant und ist daher als ein wichtiger Teilbereich des Bauwesens zu betrachten.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

**Alfen, Hans Wilhelm. 2013.** *Ökonomie des Baumarktes.* s.l. : Springer Vieweg, 2013.

**BBR. 2008.** *Dokumentationsrichtlinie des BBR.* s.l. : BBR, 2008.

**Chopra, Sunil/Meindl,Peter. 2014.** *Supply Chain Management: Strategie, Planung und Umsetzung.* s.l. : Pearson Studium, 2014.

*Dünnwandige, großformatige Fassadenelemente aus Textilbeton.* **Hegger, Josef/Schneider,Hartwig N./Kulas,Christian/Schätzke,Christian. 2009.** 2009.

**e.V., DIN. 2016.** *VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen.* 2016.

**2013.** *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure.* 2013.

**26.01.2019.**

<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/faserbeton-150986>. 26.01.2019.

**25.01.2019.** <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/sichtbeton/>. 25.01.2019.

**26.01.2019.**

[https://www.lithodecor.com/fileadmin/lithodecor/media/brochures/LITHODECOR\\_Bro\\_betoShell.pdf](https://www.lithodecor.com/fileadmin/lithodecor/media/brochures/LITHODECOR_Bro_betoShell.pdf). 26.01.2019.

**Insitution, British Standards. BSI PAS 1192.** s.l. : British Standards Institution.

**Jehle, Peter. 2018.** *BIW 4-27-Beton- und Fertigteilbau, Sonderthemen der Betonbautechnologie.* Dresden : Institut für Baubetriebswesen, 2018.

—. **2018.** *BIW 4-27-Beton und Fertigteilbau, Teil Fertigteilbau.* Dresden : Institut für Baubetriebswesen, 2018.

**Krieger, Winfried. 22.01.2019.**

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/supply-chain-management-scm-49361>. 22.01.2019.

**Lohmeyer, Gottfried C.O./Baar,Stefan/Ebeling,Karsten. 2013.** *Lohmeyer Stahlbetonbau.* s.l. : Springer Vieweg, 2013.

**Scherer, Raimar/Schapke,Sven-Eric. 2014.** *Informationssysteme im Bauwesen 1.* s.l. : Springer Vieweg, 2014.

— . **2014.** *Informationssysteme im Bauwesen 2.* s.l. : Springer Vieweg, 2014.

*Supply-Chain-Management?* **Leitl, Michael. 2005.** 09/2005, s.l. : manager magazin Verlagsgesellschaft mbH, 2005, Bd. Harvard Business manager.

*Textilbeton: Tragverhalten-Bemessung-Sicherheit.* **Hegger, Josef/Will,Norbert/Schneider,Maike. 2011.** 2011.

**Wieland, Andreas/Wallenburg,Carl Marcus. 2011.** *Supply-Chain-Management in stürmischen Zeiten.* Berlin : Universitätsverlag der TU Berlin, 2011.

# 11 ANHANG

**Tabelle 1:** Sichtbetonklassen und deren Verknüpfung mit Anforderungen (Korrekturfassung Februar 2005)

Zeile	Spalte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Sichtbetonklasse <sup>1</sup>	Beispiel	Anforderung an geschalte Sichtbetonflächen <sup>2,3</sup> nach Klassen bezüglich						Weitere Anforderungen		Kosten		
			Textur	Porigkeit <sup>4</sup>		Farbtongleichmäßigkeit <sup>5</sup>		Ebenheit	Arbeits- und Schalhaut-fugen	Erprobungsfläche <sup>6</sup>		Schalhautklasse <sup>7</sup>	
					s	ns	s	ns					
1	Sichtbeton mit	SB 1	Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen, z. B.: Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung	T1	P1		FT1	FT1	E1	AF1	freigestellt	SHK1	niedrig
2		SB 2	Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z. B.: Treppenhausräume; Stützwände	T2	P2	P1	FT2	FT2	E1	AF2	empfohlen	SHK2	mittel
3		SB 3	Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z. B.: Fassaden im Hochbau	T2	P3	P2	FT2	FT2	E2	AF3	dringend empfohlen	SHK2	hoch
4		SB 4	Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, repräsentative Bauteile im Hochbau	T3	P4	P3	FT3	FT2	E3	AF4	erforderlich	SHK3	sehr hoch

<sup>1</sup> Zur Erfüllung der Anforderungen an die Sichtbetonklassen sind die Hinweise dieses Merkblatts zu beachten.  
<sup>2</sup> Die gestalterische Wirkung der Ansichtsfäche einer Sichtbetonklasse ist grundsätzlich nur in ihrer Gesamtwirkung angemessen beurteilbar, d. h. nicht nach Maßgabe absolut erklärter Einzelmerkmale. Die Verfehlung von vertraglich vereinbarten Einzelmerkmalen im Sinne dieses Merkblattes soll daher dann nicht zu einer Pflicht zur Mängelbeseitigung führen, wenn der Gesamteindruck des betroffenen Bauteils oder Bauwerks in seiner positiven Gestaltungswirkung nicht gestört ist.  
<sup>3</sup> Diese Anforderungen/Eigenschaften werden in **Tabelle 2** näher beschrieben.  
<sup>4</sup> Siehe **Tabelle 4**; Erläuterung: s = saugende bzw. ns = nichtsaugende Schalhaut  
<sup>5</sup> Der Gesamteindruck bei vorhandenen oder nicht vorhandenen Farbtonunterschieden ist i. d. R. erst nach längerer Standzeit (u.U. nach mehreren Wochen) beurteilbar. Die Farbtongleichmäßigkeit ist aus dem üblichen Betrachtungsabstand gemäß Abschnitt 7 zu beurteilen.  
<sup>6</sup> Gegebenenfalls sollten mehrere Erprobungsflächen angefertigt werden.  
<sup>7</sup> Siehe **Tabelle 3**

[https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Wissen/Beton\\_und\\_Bautechnik/Original/92fe516901\\_2.jpg](https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Wissen/Beton_und_Bautechnik/Original/92fe516901_2.jpg)  
 (25.01.2019)